



Water and energy productivities in a solid-set sprinkler irrigation system for wheat production (Case Study: Qorveh plain)

Sana Rahmati¹ , Peyman Tahmasbi² and Bakhtiar Karimi³

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. Email: sana.rh1375@gmail.com
2. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. Email: p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir
3. Corresponding author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. Email: bakhtiar.karimi@uok.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Article

Article history:
Received 02 April 2025
Received in revised form 03 July 2025
Accepted 23 September 2025
Available online 21 March 2026

Keywords:

energy input,
productivity electricity,
productivity energy,
productivity water,
Qorveh.

Objective: This study aimed to evaluate and compare energy consumption and energy productivity in a solid-set irrigation system with portable sprinklers powered by different energy sources (electricity and diesel) for irrigated wheat production in the Qorveh Plain of Kurdistan Province.

Method: In this research, 15 irrigated wheat farms with a total area of 90 hectares, planted with the "Pishgam" cultivar, were randomly selected in the Qorveh Plain and classified into two groups: CE (electric energy source) and CD (diesel fuel energy source). GPS devices were used to measure the farm areas, and the irrigation water consumption volume was measured using an ultrasonic flow meter. Data on energy consumption (electricity and diesel), crop yield (measured through sampling), and other agricultural inputs such as seed, fertilizer, pesticides, and machinery were collected from farmers through questionnaires. Additionally, at the end of the 2023–2024 growing season, the calculated yields were cross-checked with actual farm sales data.

Results: The results showed that the highest energy consumption in the wheat farming systems using CE and CD systems was allocated to the electric power and diesel fuel, respectively which were required as irrigation head. The total energy input to the farms was calculated to be 73,173.01 and 88,507.83 MJ/ha for CE and CD systems, respectively, while the total energy output was 118,815 and 118,896 MJ/ha, respectively. Water productivity was 1.47 and 1.31 kg/m³, respectively. Energy ratios were calculated as 1.66 for CE and 1.34 for CD farms, and specific energy was 10.26 and 12.86 MJ/kg, respectively. Moreover, electricity productivity was 3.01 and 2.20 kg/kWh, and overall energy productivity was 0.09 and 0.07 kg/MJ, respectively.

Conclusions: In CD farms, the average total energy input and output were higher than CE farms; however, the water productivity index in CD farms was about 12% lower than in the CE group. Also, specific energy use was higher in diesel-powered farms, indicating higher energy consumption for wheat production. Overall, electric irrigation systems (CE) performed better in terms of energy efficiency, and it is recommended that electrification of diesel-powered wells (CD) be prioritized in national agricultural programs.

Cite this article: Rahmati, S., Tahmasbi, P., & Karimi, B. (2026). Water and energy productivities in a solid-set sprinkler irrigation system for wheat production (Case Study: Qorveh plain). *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 6 (1), 44-64. <https://doi.org/10.22126/atwe.2025.12116.1165>



Introduction

Wheat, as a strategic staple crop, plays a fundamental role in ensuring food security across societies. In many countries, including Iran, it is considered a key component of agricultural development policies. Given the increasing limitations of water and energy resources and the growing importance of sustainable production, improving the efficiency of input use in wheat cultivation has become an essential priority. Today, as water resources—particularly groundwater—face mounting pressures due to over-extraction, climate change, and reduced precipitation, the high share of agricultural water use (over 90%) and the considerable amount of direct and indirect energy consumed throughout the production process have highlighted the critical need to evaluate irrigation systems and energy management strategies. In this context, pressurized irrigation systems, such as the classic solid-set sprinkler system, if properly designed and managed, can significantly contribute to optimizing input use. The Qorveh plain in Kurdistan Province is one of Iran's major irrigated wheat-producing regions, yet it faces numerous challenges related to water and energy resources. Therefore, assessing the consumption and productivity of water and energy in the agroecosystem of wheat production in this region can help identify optimization opportunities and support the development of effective management strategies. The present study was conducted to analyze input consumption and determine key indicators of water productivity, energy productivity, and integrated water–energy productivity in wheat cultivation under a classic solid-set sprinkler irrigation system in the Qorveh plain. The findings of this research can provide valuable insights for policymakers, practitioners, and irrigation system designers in making informed decisions to achieve sustainable resource management at the farm level.

Method

Study Area

This study was conducted on farms located in the Qorveh Plain, situated in Kurdistan Province, 93 kilometers east of Sanandaj, at a latitude of 35°10'N, longitude of 47°48'E, and an elevation of 1850 meters above sea level (Salimi et al., 2017). Based on data from 2002 to 2021, the region receives an average annual rainfall between 250 and 350 mm and has a mean annual temperature of approximately 20°C. Figure 1 illustrates the geographical location of Kurdistan Province, the Qorveh Plain within the province, and the specific study farms within the Dehgolan region.

Data Collection

A total of 15 farms, covering approximately 90 hectares, were randomly selected across the plain. The primary crop cultivated on these farms was irrigated wheat of the cultivar 'Pishgam,' and the irrigation system used was a classic solid-set sprinkler system with portable sprinklers. Farmer cooperation was also considered a critical factor in farm selection. The irrigation water source for these farms was the restricted Qorveh aquifer, accessed via deep wells using motor pumps powered either by electricity or diesel fuel. The area of each farm was measured using a handheld GPS device (Etrex Vista, Garmin, Lenexa, USA) with an accuracy of less than 3 meters in Wide Area Augmentation System (WAAS) mode. To measure irrigation water volume, an ultrasonic flowmeter (UF5000, Adak, Tabriz, Iran) was used. Flow rates were recorded at various times, and the total irrigation volume per event was calculated by multiplying flow rate by irrigation duration. Electricity consumption data for each farm over the irrigation season were obtained from the regional electricity company. For diesel-powered farms, diesel fuel usage was recorded monthly. Crop yield was measured using the crop-cut

method at various points in each field using a 1.5 m × 1.5 m quadrat. Yield estimates were cross-verified with total harvested yield (as reported by farmers) for the 2023–2024 growing season. Additional farm-level input data were collected via farmer interviews, including the amount of wheat seed (Pishgam variety), fertilizer, pesticides, labor, and machinery used throughout the planting, maintenance, and harvesting stages.

Farms were categorized into two groups:

- ✓ CE: Classic solid-set sprinkler irrigation system with portable sprinklers powered by electricity.
- ✓ CD: Same irrigation system as CE, but powered by diesel fuel.

Evaluation Indicators

Using the input and output energy equivalents (Table 2), all recorded data for the 2023–2024 growing season were entered into Microsoft Excel and analyzed. The following indicators were used to evaluate the productivity of the studied farms (Kitani et al., 1999):

- ✓ **Direct energy:** human labor, electricity, fossil fuels, irrigation water.
- ✓ **Indirect energy:** seeds, agrochemicals, and machinery.
- ✓ **Renewable energy:** human labor and seeds.
- ✓ **Non-renewable energy:** fossil fuels, fertilizers, agrochemicals, machinery, and water.

a) Water Productivity

Represents the ratio of crop yield to irrigation water applied:

$$\text{Water Productivity} = \frac{\text{Crop Yield (kg/ha)}}{\text{Irrigation Water (m}^3\text{/ha)}}$$

b) Electricity and Energy Productivity

Shows the relationship between crop yield and electricity or total energy input:

$$\text{Energy Productivity} = \frac{\text{Crop Yield (kg/ha)}}{\text{Electricity or Energy Input (kwh or MJ/ha)}}$$

c) Energy Use Efficiency

The ratio of total output energy to input energy:

$$\text{Energy Efficiency} = \frac{\text{Output Energy (MJ/ha)}}{\text{InPut Energy (MJ/ha)}}$$

d) Specific Energy

Represents the amount of input energy used to produce one kilogram of output:

$$\text{Specific Energy} = \frac{\text{Input Energy (MJ/ha)}}{\text{Crop Yield (kg/ha)}}$$

Results

The results of this research showed that the highest rate of energy consumption in wheat farming systems in fields with CE and CD systems was related to the consumption of electricity and diesel fuel, respectively, for supplying the water needed for agriculture. The total energy input to the fields was calculated to be 73173.01 and 88507.83 MJ ha⁻¹, respectively, and the total energy output was 118815 and 118896 MJ ha⁻¹, respectively. Water productivity indices for these fields were 1.47 and 1.31 Kg m⁻³, respectively. The energy ratio in the fields was 1.66 and 1.34, respectively, and the specific energy was calculated to be 10.26 and 12.86 MJ ha⁻¹, respectively. Furthermore, the electricity consumption productivity was 3.01 and 2.20 Kg Kwh⁻¹, respectively, and the overall energy productivity was calculated to be 0.09 and 0.07 Kg MJ⁻¹ of input energy, respectively.

Conclusion

The results of this study demonstrated that solid-set irrigation system with portable sprinklers powered by electricity (CE) exhibit superior energy efficiency compared to similar systems powered by diesel fuel (CD). Despite the absence of a statistically significant difference in the final wheat yield between the two groups, CE farms showed lower specific energy consumption and higher water productivity. Specifically, energy consumption in diesel-powered farms was considerably higher, and their water productivity was approximately 12% lower than that of electrically powered farms. These findings highlight the critical role of energy source selection in optimizing input use and enhancing the sustainability of agricultural production. Accordingly, replacing fossil fuel-based systems with electric-powered alternatives and electrifying diesel-operated agricultural wells should be prioritized in national agricultural policy and strategic planning.



بهره‌وری مصرف آب و انرژی در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت برای محصول گندم (مطالعه موردی: دشت قروه)

ثنا رحمتی^۱، پیمان طهماسبی^۲، بختیار کریمی^۳

۱. گروه منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: sana.rh1375@gmail.com

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: bakhtiar.karimi@uok.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

هدف: این پژوهش باهدف ارزیابی و مقایسه مصرف و بهره‌وری انرژی در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری‌های متحرک با منابع انرژی متفاوت (برق و گازوئیل) در تولید گندم آبی در دشت قروه استان کردستان انجام شد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

روش پژوهش: در این پژوهش، ۱۵ مزرعه گندم آبی به مجموع مساحت ۹۰ هکتار، از نوع رقم «پیشگام» در دشت قروه به صورت تصادفی انتخاب و به دو گروه CE (منبع انرژی الکتریکی) و CD (منبع انرژی سوخت دیزل) تقسیم شدند. برای اندازه‌گیری مساحت مزارع، از دستگاه GPS استفاده گردید و حجم آب مصرفی با دبی‌سنج اولتراسونیک اندازه‌گیری شد. اطلاعات مربوط به مصرف انرژی (برق و گازوئیل)، عملکرد محصول با روش کیل‌گیری، و سایر داده‌های کشاورزی مانند بذر مصرفی، کود، سموم و ماشین‌آلات از کشاورزان در قالب پرسشنامه جمع‌آوری شد. همچنین، در پایان فصل زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳، عملکرد محاسبه‌شده با داده‌های واقعی فروش مزرعه تطبیق داده شد.

تاریخ دریافت: ۱۳/۰۱/۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۲/۰۴/۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۷/۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۰۱/۰۱/۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان مصرف انرژی در نظام‌های زراعی گندم در مزارع با سیستم‌های CE و CD به ترتیب مربوط به مصرف الکتریسیته (برق) و سوخت گازوئیل برای تأمین آب موردنیاز کشاورزی بود. میزان کل انرژی ورودی به مزارع به ترتیب معادل ۷۳۱۷۳/۰۱ و ۸۸۵۰۷/۸۳ و انرژی خروجی کل به ترتیب ۱۱۸۸۱۵ و ۱۱۸۸۹۶ مگاژول در هکتار محاسبه گردید. شاخص‌های بهره‌وری آب برای این مزارع به ترتیب ۱/۴۷ و ۱/۳۱ کیلوگرم در مترمکعب آب مصرفی بود. نسبت انرژی در مزارع به ترتیب برابر با ۱/۶۶ و ۱/۳۴ و انرژی ویژه به ترتیب ۱۰/۲۶ و ۱۲/۸۶ مگاژول در هکتار محاسبه شد. علاوه بر این، بهره‌وری برق مصرفی به ترتیب ۳/۰۱ و ۲/۲۰ کیلووات‌ساعت و بهره‌وری کلی انرژی نیز به ترتیب کیلوگرم به ازای هر مگاژول انرژی ۰/۰۹ و ۰/۰۷ ورودی محاسبه شد.

انرژی ورودی،

بهره‌وری آب،

بهره‌وری برق،

کارایی انرژی،

قروه.

نتیجه‌گیری: میانگین کل انرژی ورودی و خروجی در مزارع CD بیش‌تر از CE بوده، اما شاخص بهره‌وری آب در مزارع CD حدود ۱۲ درصد کم‌تر از گروه CE برآورد شد. همچنین انرژی ویژه در مزارع دیزلی بیش‌تر بود که نشان‌دهنده مصرف انرژی بالاتر برای تولید گندم است. در مجموع، سامانه‌های آبیاری برقی (CE) از نظر بهره‌وری انرژی عملکرد بهتری داشتند و پیشنهاد می‌شود برق‌دار کردن چاه‌های دیزلی (CD) در اولویت برنامه‌های کشاورزی کشور قرار گیرد.

استناد: رحمتی، ثنا؛ طهماسبی، پیمان؛ و کریمی، بختیار. (۱۴۰۵). بهره‌وری مصرف آب و انرژی در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت برای محصول گندم (مطالعه موردی: دشت قروه). *فناوری های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۶ (۱)، ۴۴-۶۴.

<http://doi.org/10.22126/atwe.2025.12116.1165>



مقدمه

گندم یکی از محصولات استراتژیک کشاورزی است که با دارا بودن ترکیباتی همچون کربوهیدرات، پروتئین، چربی‌های مفید، روی و سایر مواد معدنی، نقش مهمی در تأمین نیازهای تغذیه‌ای انسان دارد. این گیاه زراعی حدود ۲۵ درصد از کالری و ۲۲ درصد از پروتئین مصرفی جهانی را تأمین می‌کند و از این‌رو، سهم به‌سزایی در امنیت غذایی و پایداری نظام‌های کشاورزی دارد (باننداری و همکاران^۱، ۲۰۲۴) همچنین به‌عنوان یک محصول راهبردی با کشت مستمر در سطح ملی، این غله در زمره پرمصرف‌ترین غلات غذایی در مقیاس جهانی قرار می‌گیرد و نقش به‌سزایی در تأمین امنیت غذایی کشورها ایفا می‌کند (ما و همکاران^۲، ۲۰۲۱). با افزایش جمعیت جهانی، تقاضا برای این محصول نیز به‌طور فزاینده‌ای در حال رشد است، به‌طوری‌که پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش ۴۰ درصدی تقاضا تا سال ۲۰۳۰ است (احمد و همکاران^۳، ۲۰۲۵). بر پایه جدیدترین آمار منتشرشده توسط پایگاه آماری سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (سازمان فائو^۴، ۲۰۲۲) سطح زیر کشت گندم در سطح جهان در سال ۲۰۲۲ حدود ۲۱۹ میلیون هکتار برآورد شده و میزان تولید جهانی آن به بیش از ۸۰۸ میلیون تن رسیده است (سازمان فائو^۴، ۲۰۲۴). حدود ۴۸ درصد از کل سطح زیر کشت گندم در جهان تحت آبیاری قرار دارد (باننداری و همکاران، ۲۰۲۴). حدود ۳۴/۳۰ درصد از مجموع اراضی زیر کشت گندم در ایران به‌صورت آبی کشت می‌شوند (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲). بر اساس آخرین آمارنامه کشاورزی مربوط به سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱، سطح زیر کشت گندم در ایران معادل ۶۹۰۸۵۴۵ هکتار و میزان تولید آن بالغ بر ۱۳۲۸۳۷۳۳ تن گزارش شده است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲). گیاه گندم از جمله محصولات اصلی عمده زراعی استان کردستان است و در سطح وسیعی از اراضی آن‌ها به‌صورت آبی کشت می‌شود (طهماسبی و زارع ایبانه، ۱۴۰۴). تعیین بهره‌وری آب و انرژی مصرفی شاخص‌های بسیار مهم در برنامه‌ریزی‌های تولید گندم آبی است (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳). زیرا تولید محصولات کشاورزی به انرژی‌های مصرفی در مزارع بستگی دارد (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳). درعین‌حال، با توجه به رشد فزاینده جمعیت، تغییرات اقلیمی، محدودیت منابع آبی و نیاز روبه‌افزایش به تولید گندم برای تأمین امنیت غذایی، ارتقای بهره‌وری مصرف آب در این بخش ضرورت دارد (فراری و همکاران^۵، ۲۰۲۰). از این‌رو، گام نخست در مسیر بهبود بهره‌وری آب و انرژی، شناسایی و ارزیابی دقیق میزان مصرف آن‌هاست (جوزی و همکاران، ۱۴۰۴؛ و طهماسبی و زارع ایبانه، ۱۴۰۴).

در دهه‌های اخیر، بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران با بحران فزاینده کمبود منابع آب مواجه شده‌اند (طهماسبی، ۱۴۰۳)؛ بحرانی که با رشد روزافزون جمعیت و گسترش فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی، دامنه آن به سایر نقاط جهان نیز کشیده شده است (دین‌محمدی و عباسی، ۱۴۰۲). آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی، نقشی اساسی در بقای انسان و سایر موجودات زنده ایفا می‌کند (احمد و همکاران^۶، ۲۰۲۴) بیش از ۹۰ درصد از منابع آبی در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (شیخ‌زین‌الدین و دهقانپور، ۱۴۰۱) و به همین دلیل، کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب به‌شمار می‌آید (نیازمند و همکاران، ۱۴۰۲). صنعت کشاورزی نه‌تنها در تولید مواد غذایی، بلکه در تقویت سرمایه ملی، ایجاد فرصت‌های شغلی، افزایش تولید ناخالص داخلی و توسعه صادرات غیرنفتی، نقشی بسیار مهمی در تضمین امنیت غذایی و پویایی اقتصادی کشور دارد (ناصری و نیکان‌فر، ۱۳۹۸). از این‌رو، مدیریت کارآمد منابع کشاورزی برای برقراری توازن بین عرضه و تقاضا، ضرورتی انکارناپذیر است. این نیاز، چالش‌ها و

1. Bhandari et al
2. Ma et al
3. Ahmed et al
4. FAOSTAT
5. Ferrari et al
6. Ahmed et al

پیچیدگی های گسترده ای را برای سیاست گذاران و مدیران این حوزه به وجود آورده است (مفاخری و همکاران، ۱۴۰۰). باتوجه به یافته های جمعی از محققان (بیزیکووا و همکاران^۱، ۲۰۱۳؛ ادنو و همکاران^۲، ۲۰۱۵؛ الگافی^۳، ۲۰۱۷؛ اسلامی و همکاران، ۱۳۹۹؛ و لونی و شریف زاده، ۱۴۰۱) منابع آب، انرژی و غذا در جهان با چالش کمبود و تنش جدی مواجه هستند. کشاورزی به عنوان مهم ترین بخش تولیدات مواد غذایی نه تنها به عنوان مهم ترین عرضه کننده انرژی بلکه مهم ترین مصرف کننده انرژی نیز محسوب می شود (السوراگابی و همکاران^۴، ۲۰۱۹). در نتیجه آب و انرژی دو عامل اصلی در بخش کشاورزی می باشند (عمومی بیجائییه و همکاران، ۱۴۰۲). انرژی های ورودی (مصرفی) در حوضه کشاورزی به دو گروه مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می شوند (بهشتی تبار و همکاران^۵، ۲۰۱۰). انرژی های مستقیم شامل تمام انرژی هایی است که در عملیات کاشت، داشت و برداشت محصولات زراعی و باغی به صورت مستقیم در مزرعه مصرف می شود (سینگ^۶، ۲۰۰۰). انرژی های غیرمستقیم شامل، انرژی های مصرفی در تولیدات، بسته بندی ها و انتقال کودهای شیمیایی، آفت کش ها، ساخت ماشین آلات کشاورزی و سایر مواد صنعتی مصرفی (ورودی) در کشاورزی هستند (اوزکان و همکاران^۷، ۲۰۰۴). در هر مناطقی در دنیا که مجموعه توامان غذا، انرژی و آب از بهره وری قابل قبول و مطلوب برخوردار باشد، از امنیت غذایی پایداری برخوردار است (نیازمند و همکاران، ۱۴۰۲). منابع آب و انرژی هر دو منابع محدود بوده و کمبود این منابع در اکثر کشورهای جهان سوم و توسعه یافته نیز چالش بسیار بزرگی محسوب شده است (احمد و خان^۸، ۲۰۰۹).

در بسیاری از مناطق دنیا از جمله کشور ایران یکی از مهم ترین منابع آبی، در بخش کشاورزی جهت تأمین نیاز آبی محصولات زراعی و باغی آبخوان ها هستند که باتوجه به کمبود منابع آب سطحی و نیز گسترش شهرنشینی، انرژی نقش بسیار کلیدی در این بخش و سامانه های آبیاری دارد. در واقع انرژی مولفه ای ضروری برای هر سامانه آبیاری تحت فشار است (غلامی و همکاران، ۱۳۹۴؛ و یوسفی و مهدوی دامغانی، ۱۳۹۰) آب مورد نیاز آبیاری و انرژی مصرفی الکتریسیته برای پمپاژ، انتقال و توزیع آن به داخل مزارع یکی از نهاده های اساسی و انرژی بر در بوم نظام های فاریاب تولیدات محصولات غذایی بوده که همچنین حجم بالایی از انرژی مصرفی در این نظام ها را به خود اختصاص داده است. بهره برداری بی رویه از این منابع آب زیرزمینی باعث افت سطح آب آبخوان ها شده است که این امر موجب افزایش انرژی مورد نیاز جهت پمپاژ آب زیرزمینی می گردد. بنابراین یکی از نهاده های ورودی میزان برق مصرفی و سوخت های فسیلی (گازئیل) چاه های کشاورزی جهت توزیع و انتقال آب در داخل مزارع است، به طوری که بخش کشاورزی سومین مصرف کننده برق بعد از بخش های صنعتی و خانگی در داخل کشور محسوب می گردد (قدمی فیروز آبادی، ۱۳۹۴). همچنین باتوجه به مباحث بالا یکی دیگر از پر مصرف ترین نهاده های انرژی مصرفی در تولید محصولات کشاورزی آب آبیاری است. این موضوع در سامانه های آبیاری تحت فشار مطرح بوده و بایستی طراحان بررسی لازم را در این زمینه انجام و نیاز انرژی سامانه در هنگام طراحی را تعیین کنند (فائو^۹، ۲۰۰۲). در کشور ایران هدف اصلی تولید کننده بخش کشاورزی، حداکثر کردن سود تولید از طریق افزایش عملکرد محصولات بوده تا بیش ترین مقدار ممکن نهاده های مصرفی با استفاده از نهاده های قابل

1. Bizikova et al
2. Endo et al
3. El-Gafy
4. Elsoragaby et al
5. Beheshti Tabar et al
6. Sing
7. Ozkan et al
8. Ahmad & Khan
9. FAO

دسترس باشد. از این رو نقش اساسی انرژی و آب در تولیدات محصولات کشاورزی بر کسی پوشیده نیست (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳). از طرفی شرایط خاص دشت‌های شهرستان قروه در تامین آب مورد نیاز محصولات مختلف، ضرورت بررسی بهره‌وری آب و انرژی را در تولید محصولات زراعی را نشان می‌دهد. باتوجه به این که سطح زیر کشت محصولات مختلف در استان کردستان قابل ملاحظه بوده و دشت‌های قروه یکی از قطب‌های تولیدات محصولات زراعی در سطح استان به‌شمار می‌رود، اطلاع از میزان مصرف آب، نهاده‌های انرژی مصرفی (ورودی)، بهره‌وری آب و بهره‌وری انرژی محصولات آبی کشت شده در دشت‌های مذکور موجب می‌گردد که متوالیان کشاورزی استان جهت مدیریت مناسب مصارف آب و نهاده‌های انرژی مصرفی در تولیدات محصولات کشاورزی از جمله محصولات استراتژی منطقه گندم کمک کند.

در این راستا، پژوهشی در دشت قروه از استان کردستان، در چارچوب بوم نظام زراعی فاریاب گندم به‌عنوان محصول غالب منطقه، تحت پوشش سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک، باهدف تحلیل وضعیت مقدار انرژی ورودی و خروجی، بهره‌وری مصرف آب و انرژی، و ارزیابی شاخص‌های تلفیقی از جمله بهره‌وری آب - انرژی، انجام گرفت.

ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش

در زمینه موضوع این پژوهش، مطالعات گوناگونی انجام گرفته که در ادامه به‌مرور منتخبی از آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱. مطالعات داخلی

طهماسبی و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی تطبیقی به بررسی کارایی انرژی در دو سامانه آبیاری بارانی شامل سامانه کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک و سامانه لوله چرخ‌دار در زراعت گندم آبی در دشت دهگلان پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که انرژی کل ورودی و خروجی در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک به ترتیب برابر با ۶۹۱۸۹۰۴ و ۸۵۹۴۳۹۷ مگاژول در هکتار و در سامانه آبیاری لوله چرخ‌دار به ترتیب معادل ۱۱۰۷۰۰ و ۱۵۰۱۰۰ مگاژول در هکتار بوده است. بر این اساس، شاخص کارایی انرژی مصرفی برای سامانه کلاسیک ۱/۶۰ و برای سامانه لوله چرخ‌دار ۱/۷۵ برآورد گردیده است.

قدیمی‌فیروز آبادی و اکبری (۱۴۰۲)، در پژوهشی به بررسی تأثیر سامانه‌های مختلف آبیاری بر میزان مصرف آب و عملکرد گندم در استان همدان پرداختند. یافته‌ها نشان داد که میانگین مصرف آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، بارانی و سطحی به ترتیب ۴۱۵۳، ۴۰۹۰ و ۵۹۱۸ مترمکعب در هکتار بوده است. همچنین، بیش‌ترین عملکرد مربوط به سامانه آبیاری قطره‌ای با ۵۵۸۱ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن در سامانه آبیاری سطحی با ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد.

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 غیرمستقیم انرژی متعلق به کود نیتروژنه با ۲۰ درصد از کل انرژی مصرفی محاسبه شد.

غلامی و همکاران (۱۳۹۴) بر اساس نتایج حاصله از بررسی میزان بهره‌وری آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری بارانی برای محصول جو ۰/۷۵ تا ۲/۵، یونجه ۰/۲ تا ۱/۷۶، ذرت ۰/۳ تا ۲/۷۸ و گندم ۰/۶۱ تا ۲/۲ کیلوگرم در مترمکعب و برای سامانه آبیاری سطحی برای محصول جو ۰/۴۳ تا ۱/۴۳، یونجه ۰/۱۲ تا ۱/۵۸، ذرت ۰/۲۲ تا ۱/۵۸ و گندم ۰/۴۳ تا ۱/۲۵ کیلوگرم در مترمکعب برآورد کردند.

۲. مطالعات خارجی

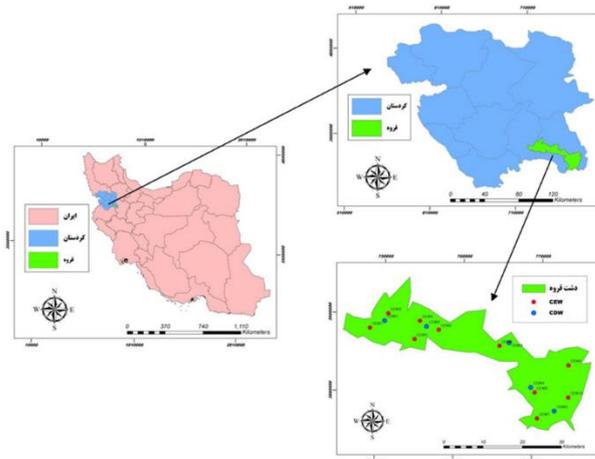
فیروزآبادی و همکاران^۱ (۲۰۲۱)، در پژوهشی که در ایستگاه اکباتان همدان انجام شد، اثر فاصله ردیف‌های کاشت گندم و فاصله بین نوارهای آبیاری قطره‌ای بر عملکرد محصول و بهره‌وری آب در خاک لومرسی شنی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای موجب کاهش قابل توجه مصرف آب و بهبود بهره‌وری آن شده است.

زاهو و همکاران^۲ (۲۰۲۰)، طی مطالعه‌ای بر روی صرفه‌جویی انرژی و آب آبیاری هنگام استخراج آب از چاه‌ها از دیدگاه پیوند انرژی و آب نشان دادند که ۷۵/۶ میلیارد کیلووات‌ساعت انرژی الکتریکی به دلیل اقدامات صرفه‌جویی در مصارف آب آبیاری، صرفه‌جویی شده است درحالی‌که کاهش سطح آب زیرزمین منجر به افزایش ۱۷۴/۴ میلیارد کیلووات‌ساعت انرژی مصرفی (الکتریسیته) جهت پمپاژ آب از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۵ گردیده است.

روش پژوهش

۱. منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در مزارع دشت شهرستان قروه استان کردستان در ۹۳ کیلومتری شرق شهر سنندج با عرض جغرافیایی $35^{\circ} 10'$ درجه و ارتفاع از سطح آب ۱۸۵۰ مترانجام شد (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۷). بر اساس دوره زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۰، متوسط بارندگی سالیانه بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱)، موقعیت مکانی استان کردستان، دشت قروه و مزرعه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت مکانی استان کردستان، دشت قروه و مزرعه‌های مورد مطالعه در دشت قروه

۲. نحوه جمع آوری داده‌ها

در دشت قروه، ۱۵ مزرعه به مجموع ۹۰ هکتار به‌طور تصادفی و پراکنده، از بین مزارع کشاورزان انتخاب شد. در مزارع انتخابی، محصول مورد کشت گندم آبی (رقم پیشگام) و سامانه آبیاری بارانی آن، کلاسیک با ثابت آبپاش‌های متحرک بود. علاوه بر ملاحظات ذکر شده، همکاری کشاورز از مسایل مهمی است که لازم بود، مورد توجه قرار گیرد. منبع آب آبیاری مزارع مورد مطالعه، آبخوان ممنوعه دشت قروه است که کشاورزان برای بهره‌برداری از آن، از موتورپمپ‌های چاه‌های عمیق استفاده می‌کنند. منبع تامین انرژی موتورپمپ‌ها، انرژی الکتریکی (برق) و یا سوخت دیزل (گازئیل) بود. مساحت هر کدام از مزرعه‌های مورد مطالعه، به‌وسیله دستگاه GPS (مدل Etrex Vista, Garmin, Lenexa, USA) با دقت زیر ۳ متر در حالت سامانه تقویت منطقه وسیع، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری حجم آب مصرفی مزارع مورد مطالعه، از دستگاه دی‌سنج اولتراسونیک^۱ (مدل UF5000, Adak, Tabriz, Iran) استفاده گردید. با استفاده از دستگاه مذکور، دبی خروجی الکتروپمپ‌ها (دبی ورودی به مزرعه) در بازه‌های زمانی متفاوت اندازه‌گیری می‌گردید و با ثبت مدت‌زمان آبیاری، حجم آب مصرفی در هر آبیاری محاسبه می‌شد. در پایان فصل آبیاری، میزان برق مصرفی هر کدام از مزارع مورد مطالعه به تفکیک دوره‌ها از شرکت برق منطقه‌ای استان دریافت شد. در مزارعی که از سوخت دیزل برای موتور پمپ‌ها، استفاده می‌شد میزان گازوئیل مصرفی ماهانه ثبت می‌گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد محصول گندم آبی از روش کیل‌گیری استفاده شد (لاوسن و کیلینگ^۲، ۱۹۹۹). برای این منظور سعی گردید که در نقاط مختلف مزرعه، عمل کیل‌گیری به روش کادر اندازه، ۱/۵ متر در ۱/۵ متر انجام شود. همچنین میزان عملکرد محاسباتی، با میزان عملکرد کل مزرعه (فروش کشاورز) تدقیق در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ شد. همچنین از کشاورزان، سایر اطلاعات مورد نیاز و تکمیلی برای مزارع مورد مطالعه، شامل میزان بذر گندم آبی (رقم پیشگام) کشت شده در مزرعه، کود مصرفی، سموم مصرفی، نیروی کارگری مورد استفاده، ماشین‌های کشاورزی مورد استفاده در مراحل کاشت، داشت و برداشت گردآوری شد. مزارع در دو گروه CE (سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش‌های متحرک با منبع انرژی الکتریکی) و CD (سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش‌های متحرک با منبع انرژی سوخت گازئیل) طبقه‌بندی شد. نهاده‌های ورودی مورد استفاده برای تولید محصول گندم در هر هکتار مشخص شدند و برای تبدیل مقادیر مختلف نهاده به واحدهای انرژی از ضرایب معادل‌های انرژی استاندارد استفاده گردید. همچنین برای محاسبه مقدار انرژی خروجی از ضرایب مربوط به محتوای انرژی محصول گندم استفاده شد. این ضرایب در جدول ۱ به‌طور کامل تشریح شده است.

1. Ultrasonic
2. Lawson and Keeling

جدول ۱. معادل‌های انرژی برای نهاده‌های ورودی و خروجی (کیتانی و همکاران، ۱۹۹۹)

| مشخصه | واحد | معادل انرژی (مگاژول بر واحد) |
|---------------------|--------------|------------------------------|
| الف) انرژی ورودی | | |
| نیروی انسانی | ساعت | ۱/۹۶ |
| ماشین‌آلات و ادوات* | ساعت | ۱۴۲/۷ |
| سوخت دیزلی | لیتر | ۵۰/۲۳ |
| نیترژن | کیلوگرم | ۶۶/۱۴ |
| فسفر | کیلوگرم | ۱۲/۴۴ |
| پتاسیم | کیلوگرم | ۱۱/۱۵ |
| کود دامی | کیلوگرم | ۰/۳ |
| بنزین | لیتر | ۳۷ |
| علف‌کش | لیتر | ۲۳۸ |
| قارچ‌کش | لیتر | ۲۱۶ |
| آفت‌کش‌ها | لیتر | ۱۰/۱۲ |
| آب آبیاری | مترمکعب | ۱/۰۲ |
| الکتریسیته | کیلووات‌ساعت | ۱۱/۹۳ |
| بذر گندم آبی | کیلوگرم | ۱۴/۷ |
| ب) انرژی خروجی | | |
| دانه گندم آبی | کیلوگرم | ۱۴/۷ |
| کاه و کلش | کیلوگرم | ۹/۲۵ |

*این انرژی شامل ساخت، تعمیرات و حمل است.

۳. شاخص‌های ارزیابی

با استفاده از معادل انرژی‌های ورودی و خروجی، در جدول ۲، کلیه اطلاعات ثبت شده در طول فصل زراعی سال ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در صفحه گسترده اکسل (Excel) وارد گردید و محاسبات با استفاده از این نرم‌افزار محاسبه شد. برای ارزیابی میزان بهره‌وری مزارع مورد مطالعه، از شاخص‌های زیر (کیتانی و همکاران، ۱۹۹۹) استفاده شد. همچنین سهم انرژی مستقیم (شامل نیروی انسانی، الکتریسیته مصرفی، سوخت فسیلی و آب آبیاری (آب مصرفی))، غیرمستقیم (شامل بذر، مواد شیمیایی و ماشین‌ها)، انرژی تجدیدپذیر (شامل نیروی انسانی و بذر) و تجدیدناپذیر (شامل سوخت فسیلی، کودها و مواد شیمیایی، ماشین‌ها و آب مصرفی) محاسبه شدند (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳).

الف) بهره‌وری آب مصرفی (کیلوگرم در مترمکعب): نسبت عملکرد محصول به مقدار آب ورودی به مزرعه است (رابطه ۱).

$$\text{میزان عملکرد محصول} = \frac{\text{میزان عملکرد محصول}}{\text{آب ورودی به مزرعه}} = \text{بهره‌وری آب مصرفی} \quad (۱)$$

که در این رابطه، میزان عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار و حجم آب ورودی به مزرعه بر حسب مترمکعب در هکتار است.

ب) بهره‌وری برق مصرفی و انرژی مصرفی (کیلوگرم در کیلووات‌ساعت و کیلوگرم در مگاژول): این شاخص رابطه کمی بین عملکرد محصول به ازای واحد انرژی مصرفی، را نشان می‌دهد (رابطه ۲).

$$\text{میزان عملکرد محصول} = \frac{\text{میزان عملکرد محصول}}{\text{برق مصرفی یا انرژی ورودی}} = \text{بهره‌وری برق و انرژی مصرفی} \quad (۲)$$

که در این رابطه، میزان عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار، میزان برق مصرفی و انرژی ورودی به ترتیب، بر حسب کیلووات-ساعت در هکتار و مگاژول در هکتار است.

ج) کارایی انرژی مصرفی (بدون بعد): از نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی، به دست می‌آید (رابطه ۳).

$$\text{کارایی انرژی مصرفی} = \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی ورودی}} \quad (۳)$$

در رابطه مذکور، میزان انرژی ورودی و خروجی بر حسب مگاژول در هکتار، وارد می‌گردد. همچنین در این رابطه، میزان انرژی خروجی از رابطه ۴، حاصل می‌شود. ضرایب انرژی از جدول ۱، گزارش شده‌اند.

$$\text{ضریب انرژی} \times \text{عملکرد محصول} = \text{انرژی خروجی} \quad (۴)$$

د) انرژی ویژه (مگاژول در کیلوگرم): از نسبت انرژی ورودی به میزان عملکرد محصول، حاصل می‌شود. در واقع این شاخص، نشان‌دهنده این امر است که برای تولید یک کیلوگرم محصول، چه میزان انرژی مصرف شده است (رابطه ۵).

$$\text{انرژی ویژه} = \frac{\text{انرژی ورودی}}{\text{میزان عملکرد محصول}} \quad (۵)$$

انرژی ورودی بر حسب مگاژول در هکتار و عملکرد محصول، بر حسب کیلوگرم در هکتار است.

یافته‌های پژوهش

۱. ارزیابی و تجزیه و تحلیل انرژی ورودی و خروجی

مطابق جدول ۲، میانگین الکتریسیته (برق) مصرفی برای گیاه گندم آبی به ازای هر هکتار در مزارع مورد مطالعه طی یک دوره زراعی ارائه شده است. متوسط برق مصرفی مزارع CE، ۲۳۰۸/۹۱ کیلووات‌ساعت در هکتار بود. الگوی مصرف انرژی الکتریکی در مزارع کشاورزی تحت تأثیر ترکیبی از عوامل هیدرولیکی، فنی و مدیریتی قرار دارد (طهماسبی و زارع، ۱۴۰۴). در این میان، پارامترهایی نظیر عمق دینامیک سطح ایستابی، فاصله مکانی چاه تا مزرعه، ویژگی‌های مورفولوژیکی و توپوگرافیک اراضی، و بازده عملیاتی الکتروپمپ‌ها در نقطه کار بهینه، به طور مستقیم بر میزان انرژی مصرفی اثرگذارند (نیازمند و همکاران، ۱۴۰۲). همچنین،

تعیین میزان دبی بهره‌برداری از چاه بر مبنای ظرفیت آبیاری اراضی تحت پوشش، و مدیریت زمان‌بندی آبیاری در طول دوره رشد زراعی، از مؤلفه‌های کلیدی در چارچوب مدل‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در سامانه‌های تأمین آب به‌شمار می‌آیند (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳). میانگین گازئیل مصرفی مزارع CD، ۱۰۶۸ لیتر در هکتار بود که با تبدیل کردن به برق مصرفی (گازوئیل دارای ارزش حرارتی تقریبی ۳۵/۸ مگاژول در لیتر است، اما بازدهی موتورهای دیزلی در تبدیل این انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی یا الکتریکی معمولاً حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد است. با فرض بازدهی متوسط ۳۵ درصد، انرژی مفید حاصل از هر لیتر گازوئیل برابر با ۱۲/۵۳ مگاژول است. این مقدار را می‌توان با استفاده از ضریب تبدیل ۲۷۷/۷۸ کیلووات‌ساعت بر مگاژول به معادل الکتریکی تبدیل کرد که حدود ۳/۴۸ کیلووات‌ساعت در لیتر خواهد بود) معادل ۳۷۱۶/۶۹ کیلووات‌ساعت در طی فصل رشد گیاه گندم است. به عبارت دیگر به‌طور متوسط برق مصرفی مزارع CD بیش از ۱/۶ برابر مزارع CE بود. نتایج بررسی قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که راندمان کل ۱۷ دستگاه موتورپمپ دیزلی به‌کار رفته در مزارع کشاورزی شهرستان همدان، در بازه‌ای بین ۵ تا ۲۴/۳ درصد قرار داشته و میانگین بازدهی این سامانه‌ها حدود ۱۴/۷ درصد برآورد شده بود. در مقابل، مطالعه رضوانی و همکاران (۱۳۸۹) حاکی از آن است که متوسط راندمان انرژی ایستگاه‌های پمپاژ برقی مورد استفاده در همان منطقه، به میزان قابل توجهی بالاتر بوده و برابر با ۴۶/۴ درصد گزارش شده است. به‌طور کلی، راندمان موتورپمپ‌های دیزلی به‌طور قابل توجهی پایین‌تر از راندمان الکتروپمپ‌ها ارزیابی می‌شود. این اختلاف عملکرد را به عوامل متعددی همچون فرسودگی موتور و پمپ، نبود فونداسیون مناسب برای نصب تجهیزات، عدم تطابق صحیح بین ظرفیت موتور و مشخصات پمپ، و همچنین عدم بهره‌گیری کامل از توان اسمی موتور در حین بهره‌برداری می‌توان مرتبط دانست.

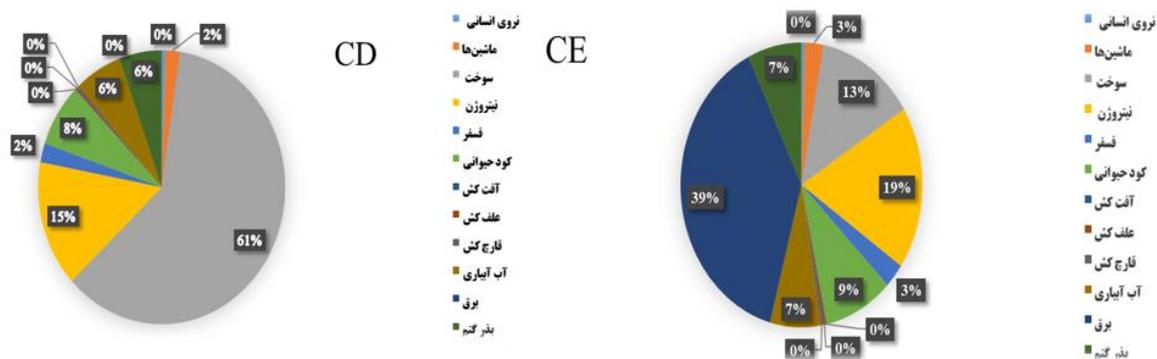
متوسط انرژی مصرفی و یا به عبارتی متوسط کل انرژی ورودی به مزارع CE و CD به ترتیب، ۷۱۳۷۱/۰۱ و ۸۸۵۰۷/۸۳ مگاژول در هکتار بود (جدول ۲). در سامانه آبیاری CD، به‌دلیل اتکای زیاد به گازوئیل به‌عنوان منبع انرژی برای انتقال و توزیع آب، میزان مصرف انرژی تقریباً ۱/۲۴ برابر بیش‌تر از سامانه CE، است. شکل (۲)، به تفکیک سهم هریک از نهاده‌های ورودی در تولید گندم آبی دشت مذکور را نمایش می‌دهد. در مزارع CE الکتریسیته مصرفی (برق) جهت استحصال آب مصرفی با سهم تقریباً ۳۹ درصد، بیش‌ترین سهم از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است که نشان‌دهنده اهمیت یک جایگزین مطمئن در فرآیندهای کشاورزی منطقه است. پژوهش (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳) با اذعان به نقش مهم و بنیادین انرژی الکتریکی در سامانه‌های آبیاری تحت فشار و آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر اختلالات تأمین برق، به‌طور مشخص استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک^{۲۲} (دستگاه‌هایی هستند که انرژی نور خورشید را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند، معمولاً با استفاده از سلول‌های نیمه‌رسانا مانند سیلیکون) را به‌عنوان یک راه‌کار کارآمد پیشنهاد دادند. تحلیل کاربردی این پیشنهاد نشان می‌دهد که استقرار این سامانه‌ها قادر است ضمن تأمین انرژی موردنیاز برای استحصال و پمپاژ آب، به کاهش هزینه‌های عملیاتی و اثرات منفی زیست‌محیطی منجر شود. مهم‌تر آن‌که، استقلال نسبی از شبکه تأمین و توزیع برق، به‌ویژه در شرایط بحرانی، به دلیل ناترازی‌های به‌وجود آمده در سال‌های اخیر می‌تواند تداوم آبرسانی به مزارع و در نتیجه، امنیت غذایی را تضمین نماید. همچنین در مزارع CE، بعد از الکتریسیته مصرفی کودهای شیمیایی با سهمی بیش از ۲۰ درصد، به‌عنوان دومین نهاده مصرفی مهم در مزارع شناخته می‌شوند که این موضوع بیان‌گر وابستگی قابل توجه تولید کشاورزی به این نهاده است. سایر نهاده‌ها نظیر سوخت‌های فسیلی (۱۳ درصد)، کود دامی (۹ درصد)، بذر (۷ درصد)، آب آبیاری (۷ درصد)، ماشین‌آلات (۳ درصد)، فسفر (۳ درصد)، سموم شیمیایی (۰/۸۳ درصد) و نیروی انسانی (۰/۴۰ درصد) سهم کم‌تری داشته و در رتبه‌های بعدی مصرف نهاده در سال زراعی مذکور قرار گرفته‌اند. عدم ثبت بنزین (سوخت ماشین‌ها) می‌تواند به دلیل مصرف ناچیز یا عدم استفاده مستقیم آن‌ها در این مزارع باشد. این توزیع انرژی مصرفی، نشان‌دهنده وابستگی بالای این مزارع به نیروی الکتریسیته و کودهای شیمیایی به‌خصوص کود نیتروژن است، درحالی‌که نهاده‌های شیمیایی و نیروی کارگری در سامانه‌های مدرن، کم‌ترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. در مزارع تحت سامانه CD، سوخت‌های فسیلی با سهمی معادل ۶۱ درصد، بیش‌ترین میزان مصرف نهاده‌های ورودی را به خود اختصاص

داد؛ موضوعی که نشان‌دهنده وابستگی شدید این سامانه به منابع انرژی فسیلی برای انجام عملیات تولیدی، به‌ویژه آبیاری، است. پس از آن، به ترتیب کودهای شیمیایی (۱۷ درصد)، کود دامی (۸ درصد)، آب آبیاری (۶ درصد)، بذر گندم آبی (۶ درصد)، آفت‌کش‌ها (۰/۶۷ درصد) و نیروی انسانی (۰/۴۵ درصد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳؛ نیازمند و همکاران، ۱۴۰۲) در دشت هم‌جوار (دشت‌های دهگلان) کم‌ترین نهاده مصرفی در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری‌های متحرک در مزارع گندم و سیب‌زمینی نیروی انسانی گزارش کرده بودند هرچند که در اکثر اقلیم‌های دیگر کشور ایران (قاسمی مبتکر، ۱۳۹۸؛ قاسمی مبتکر و همکاران، ۱۴۰۲؛ حیدری‌سلطان‌آبادی، ۱۴۰۰) نیروی کارگری کم‌ترین مصرف انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده بودند. میزان مصرف نهاده‌های مربوط به مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت در طول یک فصل آبی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع محصول، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، طول دوره رشد، شرایط اقلیمی، نوع سامانه آبیاری، موقعیت و نوع منبع آب و همچنین منبع تأمین انرژی قرار دارد (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۴). طهماسبی و زارع آبیانه (۱۴۰۴) میزان متوسط انرژی مصرفی (ورودی) در مزارع گندم آبی پیشگام تحت سامانه آبیاری سطحی واقع در پایاب سد مخزنی سورال را برابر با ۲۹۷۳۳/۱۶ مگاژول در هر هکتار گزارش کردند. همچنین، بر اساس یافته‌های طهماسبی و همکاران (۱۴۰۴)، میانگین انرژی مصرفی در مزارع گندم آبی همین منطقه تحت سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش‌های متحرک و با استفاده از منابع انرژی برق و نیروی ثقل، به ترتیب برابر با ۴۵۰۲۷/۴۳ و ۴۲۴۷۲/۰۲ مگاژول در هر هکتار بوده است. در مطالعه دیگری، طهماسبی و همکاران (۱۴۰۳) مقدار کل انرژی ورودی برای تولید گندم آبی در دشت‌های دهگلان را ۶۹۱۸۹/۰۴ مگاژول در هر هکتار برآورد کردند. همچنین تقی‌نژاد و واحدی (۱۴۰۰) میزان انرژی خروجی حاصل از تولید گندم آبی در استان اردبیل را ۶۵۰۱۶/۰۷ مگاژول در هر هکتار اعلام نمودند. میزان انرژی مصرفی برای تولید گندم آبی در مناطق مختلف تحت شرایط اقلیمی گوناگون تفاوت قابل توجهی دارد. به طور مثال، در منطقه مشهد این میزان برابر با ۴۵۳۶۷/۶۳ مگاژول در هکتار گزارش شده است (قربانی و همکاران، ۲۰۱۱)، در حالی که در سیستان و بلوچستان، بدون در نظر گرفتن مصرف برق، انرژی مصرفی ۳۲۴۹۲/۹۷ مگاژول در هکتار بوده است (ضیائی و همکاران، ۱۳۹۲). در استان اردبیل این مقدار حدوداً ۳۸۷۵۵/۳۴ مگاژول در هکتار برآورد شده است (تقی‌نژاد و واحدی، ۱۴۰۰)، و در ایالات ماماریای ترکیه مصرف انرژی برابر با ۲۰۶۳۵/۵۰ مگاژول در هکتار بوده است (تیبی و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین در استان همدان، بدون در نظر گرفتن مصرف آب، انرژی مصرفی به ۴۷۵۹۱/۵۲ مگاژول در هکتار رسید (قاسمی‌مبتکر، ۱۳۹۸). در این تحقیق، تفاوت‌های مشاهده‌شده عمدتاً به شیوه مدیریت کشاورزی و نحوه بهره‌برداری از نهاده‌ها توسط کشاورزان ارتباط دارد. اگرچه مقدار انرژی ورودی کم‌تر از تفاوت در بهره‌وری و کارایی انرژی تأثیرگذار است، شناسایی نهاده‌های مصرفی انرژی و تعیین سهم هر یک از آن‌ها در فرآیند تولید محصول، از اهمیت بالایی برخوردار است. به عبارت دیگر، نحوه مدیریت و مصرف نهاده‌ها توسط کشاورزان تأثیر بیش‌تری در تفاوت‌های مشاهده‌شده نسبت به میزان انرژی ورودی دارد. با این حال، برای بهینه‌سازی فرآیند تولید، ضروری است که سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی انرژی شناسایی و تحلیل گردد. برای مثال، برخلاف نتایج این مطالعه که در مزارع CE که الکتروسیته (برق) مصرفی و در مزارع CD سوخت فسیلی (گازئیل) به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاده‌ها شناسایی شدند، در شرایط منطقه‌ای نتایج متفاوتی گزارش شده است. در مشهد، مواد شیمیایی بیش‌ترین سهم را در مصرف انرژی داشتند (قربانی و همکاران، ۲۰۱۱)، در استان‌های همدان و گرگان سوخت‌های فسیلی غالب بودند (قاسمی‌مبتکر، ۱۳۹۸)، و در سیستان و بلوچستان مصرف کودهای شیمیایی بیش‌ترین مقدار انرژی مصرفی را به خود اختصاص داد (ضیائی و همکاران، ۱۳۹۲). علاوه بر این، در پژوهش‌هایی همچون تحقیق (تقی‌نژاد و واحدی، ۱۴۰۰)، مشخص شد که در تولید گندم آبی، الکتروسیته بیش‌ترین سهم از انرژی ورودی را داشت. همچنین در استان اصفهان ۵۵/۶۲ درصد و در استان خراسان رضوی ۵۰/۳۷ درصد از کل انرژی ورودی مربوط به این منبع بود. در این مطالعه، تفاوت‌های مشاهده‌شده در عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی با منابع انرژی مختلف (برق و گازوئیل) تأثیر معناداری روی عملکرد نداشت. مجموع انرژی خروجی برای کشت گندم آبی با در نظر گرفتن عملکرد دانه گندم و بقایای گیاهی (کاه و کلش) در مزارع با سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری‌های متحرک با منابع انرژی برق (CE) و گازوئیل (CD) به ترتیب ۱۱۸۸۱۵ و ۱۱۸۸۹۶ مگاژول

در هکتار گزارش شد (جدول ۲). این نتایج نشان دهنده این است که تغییر منبع انرژی (از برق به گازوئیل) در این سامانه‌های آبیاری بارانی تأثیر قابل توجهی در مجموع انرژی خروجی نداشته است. باتوجه به این که اختلافات انرژی خروجی بین دو منبع انرژی در این مطالعه بسیار ناچیز بوده است، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر منبع انرژی (برق یا گازوئیل) تأثیر زیادی بر عملکرد کشاورزی نداشته و عوامل دیگری همچون شرایط محیطی، نوع خاک، کمیت و کیفیت آب و مدیریت کشاورزی ممکن است تأثیرگذارتر باشند.

جدول ۲. میزان نهاده‌های مصرفی محصول گندم آبی و عملکرد آن در مزارع کشاورزان دشت قروه استان کردستان

| سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک | | | |
|---|---------------------|-----------------------|-------------|
| منبع انرژی سوخت فسیلی | منبع انرژی الکتریکی | | |
| CD | CE | واحد | شرح شاخص‌ها |
| ۳۷۱۶/۶۹ | ۲۳۰۸/۹۱ | کیلووات‌ساعت در هکتار | برق مصرفی |
| ۸۸۵۰۷/۸۳ | ۷۱۳۷۱/۰۱ | مگاژول در هکتار | انرژی ورودی |
| ۶۸۸۰ | ۶۹۵۰ | کیلوگرم در هکتار | عملکرد |
| ۱۱۸۸۹۶ | ۱۱۸۸۱۵ | مگاژول در هکتار | انرژی خروجی |



شکل ۲. سهم هر یک از نهاده‌های ورودی مزارع الکتریکی (CE) و دیزل (CD) در کشت گندم آبی دشت قروه استان کردستان

۲. مقایسه روابط بین انرژی‌های ورودی و خروجی

کارایی انرژی که به‌عنوان نسبت انرژی خروجی (محصول برداشت‌شده) به مجموع انرژی‌های ورودی (نهاده‌های مصرفی) تعریف می‌شود، یکی از شاخص‌های مهم برای ارزیابی بهره‌وری سامانه‌های کشاورزی است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در جدول (۳)، میزان این شاخص در مزارع CE برابر با ۱/۶۶ و در مزارع CD معادل ۱/۳۴ محاسبه شد. این مقادیر بیان‌گر آن هستند که مزارع CE عملکرد بهینه‌تری در بهره‌برداری از منابع انرژی داشته‌اند. عوامل مختلفی می‌توانند بر این کارایی انرژی مصرفی در مزرعه تأثیر گذار باشد، از جمله نوع محصول، مدیریت مزرعه، شرایط اقلیمی، بافت اجتماعی و فرهنگی منطقه، و سامانه‌های آبیاری به‌کاررفته (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۴). به نظر می‌رسد که اختلاف عملکرد بین دو نوع مزرعه، به‌ویژه پایین‌تر بودن کارایی در مزارع CD، ممکن است ناشی از مصرف بالاتر انرژی‌های ورودی مانند سوخت‌های فسیلی جهت پمپاژ و توزیع آب باشد. طهماسبی و زارع ایبانه (۱۴۰۴) در پژوهشی میزان کارایی مصرف انرژی در تولید گندم را در اراضی پایاب سد مخزنی سورال واقع در استان

کردستان بررسی کردند. نتایج نشان داد که در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک، کارایی مصرف انرژی برابر با ۲/۲۳ و در سامانه آبیاری سطحی مبتنی بر نیروی ثقل معادل ۲/۰۷ بوده است. همچنین در مطالعه‌ای دیگر در همان منطقه، طهماسبی و همکاران (۱۴۰۴) کارایی مصرف انرژی این محصول را در سامانه بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک، تحت تأثیر دو منبع انرژی مختلف بررسی کردند؛ به طوری که مقدار این شاخص برای سامانه مبتنی بر انرژی برق برابر با ۲/۴۶ و برای سامانه مبتنی بر نیروی ثقل برابر با ۲/۸۱ گزارش گردید. طهماسبی و همکاران (۱۴۰۳)، کارایی مصرف انرژی برای محصول گندم آبی در دشت دهگلان، در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک و لوله چرخ‌دار را به ترتیب ۱/۶۰ و ۱/۷۵ گزارش کردند. یکی از دلایل اصلی پایین‌تر بودن کارایی مصرف انرژی در مطالعه حاضر نسبت به تحقیقات پیشین طهماسبی و همکاران (۱۴۰۴) و طهماسبی و زارع ایبانه (۱۴۰۴)، به تفاوت در منبع تأمین آب و نحوه انتقال آن بازمی‌گردد. در مزارع مورد بررسی، آب آبیاری مستقیماً از سد تأمین شده و با بهره‌گیری از نیروی ثقل بدون نیاز به پمپاژ به مزرعه منتقل می‌شود؛ در نتیجه، میزان انرژی مصرفی برای انتقال آب عملاً ناچیز بوده است. در مقابل، در مطالعه طهماسبی و همکاران (۱۴۰۳)، منبع آب، آبخوان‌های زیرزمینی منطقه بوده و تأمین و توزیع آب نیازمند مصرف قابل توجهی از انرژی برای پمپاژ و انتقال به سطح مزرعه بوده است. با وجود این تفاوت در ساختار تأمین انرژی، مقادیر کارایی انرژی در دو مطالعه به یکدیگر نزدیک گزارش شده‌اند که می‌تواند ناشی از تأثیر سایر عوامل مؤثر مانند بهره‌وری محصول، نوع نهاده‌ها و مدیریت مزرعه نیز باشد.

در ارزیابی بهره‌وری انرژی دو نوع سامانه آبیاری بارانی، نتایج نشان داد که مزارع مجهز به سامانه CE (منبع انرژی الکتریسته) با مقدار ۰/۰۹ کیلوگرم در مگاژول، بهره‌وری بالاتری نسبت به مزارع دارای سامانه CD (منبع انرژی دیزل) با مقدار ۰/۰۷ کیلوگرم در مگاژول داشتند (جدول ۳). این بدان معناست که به ازای مصرف هر واحد انرژی، سامانه CE انرژی مصرفی کمتری داشته یا محصول بیشتری تولید کرده است. در مطالعات مربوط به تولیدات زراعی، بهره‌وری انرژی شاخص دقیق‌تری نسبت به کارایی انرژی برای مقایسه سامانه‌ها به‌شمار می‌رود. درحالی‌که کارایی انرژی تنها به میزان انرژی مصرفی برای انجام یک فعالیت خاص اشاره دارد، بهره‌وری انرژی نسبت مستقیم بین مقدار محصول تولیدی و انرژی مصرف‌شده را نشان می‌دهد و درک بهتری از کارآمدی سامانه در تبدیل انرژی به محصول نهایی ارائه می‌دهد (طهماسبی و زارع، ۱۴۰۴). از آن‌جا که عوامل متعددی نظیر میزان انرژی ورودی و عملکرد محصول می‌توانند بر کارایی انرژی اثر بگذارند، اتکای صرف به آن ممکن است منجر به تفسیر نادرست شود. در این مطالعه، با وجود شباهت در عملکرد نهایی محصول میان دو سامانه، مصرف بالاتر سوخت گازوئیل در مزارع CD باعث افزایش مجموع انرژی ورودی آن‌ها و در نتیجه کاهش بهره‌وری انرژی شد. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از منبع انرژی الکتریکی در سامانه CE به دلیل مصرف کم‌تر انرژی ورودی، کارایی بهتری در تولید محصول داشته است.

شاخص بهره‌وری مصرف برق در تولید گندم (بر حسب کیلوگرم به ازای هر کیلووات‌ساعت برق مصرفی) در جدول (۳) گزارش شده است. این شاخص نشان‌دهنده مقدار گندم آبی تولیدشده در ازای هر واحد انرژی الکتریکی مصرف‌شده است. بر این اساس، میزان این شاخص در مزارع CE برابر با ۳/۰۱ کیلوگرم بر کیلووات‌ساعت و در مزارع CD معادل ۲/۲۰ کیلوگرم بر کیلووات‌ساعت بوده است. کاهش بهره‌وری در مزارع CD عمدتاً ناشی از راندمان پایین موتورهای دیزلی و در نتیجه مصرف بالاتر برق در این مزارع است. مطالعه‌ای توسط غلامی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که شاخص بهره‌وری انرژی الکتریکی در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در دشت قزوین (در شرایط پمپاژ آب از چاه) برای محصولات مختلف متفاوت است. مقدار این شاخص برای گندم بین ۲/۶۲ تا ۹ کیلوگرم در کیلووات‌ساعت، برای جو بین ۲/۰۹ تا ۷/۷۹، برای ذرت دانه‌ای بین ۱/۰۹ تا ۸/۶۴ و برای یونجه در محدوده ۰/۳۴ تا ۳/۷۴ گزارش شده است. همچنین، علی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۴) بهره‌وری مصرف برق در سامانه آبیاری عقربه‌ای برای ذرت بذری در استان خراسان رضوی را ۰/۸۳۸ کیلوگرم در کیلووات‌ساعت گزارش کردند. یکی از عوامل کلیدی مؤثر بر بهره‌وری انرژی در مزارع، نوع منبع تأمین آب است؛ چرا که به طور مستقیم بر میزان برق مصرفی تأثیرگذار است (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۴). در سامانه‌های آبیاری سطحی که برداشت آب از طریق کانال‌های شبکه آبیاری انجام می‌شود، به دلیل حذف نیاز به پمپاژ، مصرف برق به صفر می‌رسد (نیازمند و همکاران، ۱۴۰۲).

در ارزیابی بهره‌وری آب مصرفی در مزارع مورد بررسی، متوسط شاخص بهره‌وری برحسب کیلوگرم محصول به‌ازای هر مترمکعب آب در مزارع CE و CD به ترتیب برابر با ۱/۴۷ و ۱/۳۱ به‌دست آمد. به بیان دیگر، بهره‌وری مصرف آب در مزارع CD حدود ۱۲ درصد کم‌تر از مزارع CE بود. این تفاوت می‌تواند تحت تأثیر عواملی چون سطح آگاهی کشاورزان نسبت به اصول صحیح آبیاری گندم که بر مدت و تعداد نوبت‌های آبیاری در طول فصل زراعی اثر می‌گذارد، اندازه اراضی، سطح دسترسی به منابع آبی و نوع تجهیزات مورد استفاده در آبیاری باشد (نیازمند و همکاران، ۱۴۰۲). با وجود مصرف بیش‌تر آب در مزارع CD، عملکرد نهایی محصول تفاوت معناداری با مزارع CE نداشت که این موضوع نشان‌دهنده پائین بودن کارایی سامانه آبیاری در این مزارع است. به‌نظر می‌رسد سامانه‌های آبیاری مورد استفاده در مزارع CD از نظر عملکرد هیدرولیکی، شامل یکنواختی پخش و میزان تلفات آب، دچار ضعف است. یکی از علل اصلی این مشکل می‌تواند به عملکرد ضعیف و ناپایدار موتورهای دیزلی در تأمین فشار موردنیاز برگردد. چنان‌چه فشار لازم برای عملکرد مطلوب سامانه آبیاری بارانی تأمین نشود، یکنواختی پاشش آب توسط آبپاش‌ها کاهش یافته و در نتیجه توزیع آب در مزرعه نامناسب خواهد بود که این مسئله نهایتاً موجب افت عملکرد می‌شود (معروف‌پور و همکاران، ۲۰۱۹).

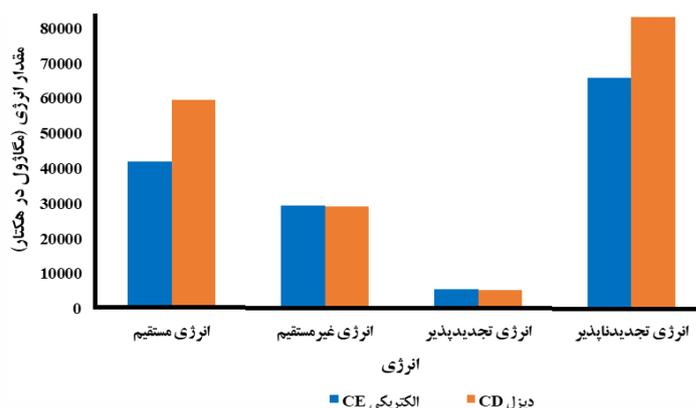
بر اساس شاخص انرژی ویژه ارائه‌شده در جدول (۳)، مقادیر این شاخص برای مزارع CE و CD به ترتیب برابر با ۱۰/۲۶ و ۱۲/۸۶ مگاژول بر کیلوگرم بود. شاخص انرژی ویژه در واقع برعکس شاخص بهره‌وری انرژی است و بیانگر میزان انرژی مصرفی برای تولید هر کیلوگرم دانه گندم آبی است. مقادیر پایین‌تر این شاخص نشان‌دهنده بهره‌وری بالاتر و عملکرد کارآمدتر سامانه تولید هستند. مطابق نتایج، میزان انرژی مصرف‌شده برای تولید یک کیلوگرم گندم در مزارع CD حدود ۱/۲۵ برابر بیش‌تر از مزارع CE بوده است. این اختلاف بیان‌گر آن است که سامانه‌های آبیاری و تأمین انرژی در مزارع CE از کارایی بالاتری برخوردار بوده‌اند. یکی از عوامل اصلی این تفاوت، نوع حامل انرژی مصرفی در سامانه‌های آبیاری است. در مزارع CE، استفاده از برق با راندمان بالاتر نسبت به گازوئیل، منجر به کاهش انرژی ویژه و افزایش بهره‌وری انرژی شده است. در مقابل، در مزارع CD مصرف بالای گازوئیل به‌عنوان منبع اصلی تأمین انرژی، به دلیل راندمان پایین موتورهای دیزلی، موجب افزایش قابل توجه انرژی مصرفی گردیده است. بنابراین، برقی‌سازی چاه‌های کشاورزی می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مؤثر در کاهش مصرف انرژی نهایی، افزایش کارایی سامانه‌های تولید، و در نهایت کاهش هزینه‌های تولید و ارتقای بهره‌وری در بخش کشاورزی مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۳. روابط بین انرژی‌های ورودی و خروجی در تولید گندم آبی در سامانه‌های آبیاری بارانی دشت قروه استان کردستان

| سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش‌های متحرک | | | |
|---|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| شرح شاخص‌ها | واحد | منبع انرژی الکتریکی | منبع انرژی سوخت فسیلی |
| | | CE | CD |
| کارایی انرژی | - | ۱/۶۶ | ۱/۳۴ |
| بهره‌وری انرژی | کیلوگرم در مگاژول | ۰/۰۹ | ۰/۰۷ |
| بهره‌وری برق مصرفی | کیلوگرم در کیلووات‌ساعت | ۳/۰۱ | ۲/۲۰ |
| بهره‌وری آب آبیاری | کیلوگرم در مترمکعب | ۱/۴۷ | ۱/۳۱ |
| انرژی ویژه | مگاژول در کیلوگرم | ۱۰/۲۶ | ۱۲/۸۶ |

توزیع انرژی به صورت‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر در شکل ۲ نشان‌دهنده شده است. نتایج حاصل از بررسی انواع انرژی مصرفی در سامانه تولید محصول مورد بررسی نشان داد که انرژی مستقیم سهم بیش‌تری نسبت به انرژی غیرمستقیم دارد. دلیل این موضوع می‌تواند مصرف بالای نهاده‌های الکتریسیته و سوخت باشد. همچنین، انرژی‌های تجدیدنپذیر

در مقایسه با انرژی‌های تجدیدپذیر سهم غالبی را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به محدودیت منابع انرژی تجدیدناپذیر و آثار مخرب زیست‌محیطی ناشی از مصرف آن‌ها، کاهش وابستگی به این منابع و جایگزینی آن‌ها با انرژی‌های تجدیدپذیر، ضرورتی انکارناپذیر در راستای دستیابی به کشاورزی پایدار است. یافته‌ها نشان می‌دهد که اصلاح الگوهای مصرف انرژی از طریق به‌کارگیری نهاده‌های طبیعی مانند کودهای زیستی و دامی، استفاده از روش‌های کم‌خاک‌ورزی، و بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی در آبیاری، می‌تواند سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر را به طور مؤثری کاهش دهد. این اقدامات نه تنها موجب کاهش فشار بر منابع محدود انرژی می‌شود، بلکه منجر به کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و افزایش پایداری در سیستم‌های تولید محصولات زراعی می‌شود.



شکل ۲. مقادیر انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید گندم آبی

بحث

این پژوهش باهدف ارزیابی علمی شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب و انرژی در تولید گندم آبی در دشت قره استان کردستان انجام شده است. تمرکز اصلی بر ارزیابی میدانی این شاخص‌ها در مزارع کشاورزان منطقه بوده است. مزارع مورد مطالعه بر اساس نوع سامانه آبیاری و منبع انرژی به دو گروه CE و CD تقسیم شدند. گروه CE (سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری‌های متحرک با منبع انرژی الکتریکی (برق))، گروه CD (سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری‌های متحرک با منبع انرژی سوخت دیزل) تعریف گروه‌بندی شدند. در پایان فصل آبیاری، میزان برق مصرفی مزارع گروه CE از شرکت برق منطقه‌ای شهرستان جمع‌آوری شد تا محاسبات دقیق‌تری در مورد بهره‌وری برق و انرژی ورودی این گروه انجام شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میانگین کل انرژی ورودی و خروجی در مزارع CE به ترتیب برابر با ۷۱۳۷۱/۰۱ و ۱۱۸۸۱۵ مگاژول در هکتار و در مزارع CD معادل ۸۸۵۰۷/۸۳ و ۱۱۸۸۹۶ مگاژول در هکتار برآورد شد. مقایسه شاخص بهره‌وری آب نشان داد که مزارع CD حدود ۱۲ درصد عملکرد پایین‌تری نسبت به مزارع CE داشتند. با این حال، اختلاف معنی‌داری در عملکرد نهایی محصول گندم میان دو نوع مزرعه مشاهده نشد. مقدار انرژی ویژه نیز به ترتیب برای مزارع CD و CE معادل ۱۰/۲۶ و ۱۲/۸۶ مگاژول در کیلوگرم برآورد گردید که بیان‌گر مصرف انرژی بیشتر در مزارع مبتنی بر سوخت دیزل (CD) برای تولید گندم آبی است. به طور کلی، تحلیل شاخص‌های انرژی در این مطالعه نشان می‌دهد که سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری‌های متحرک که با برق کار می‌کنند، از نظر کارایی انرژی در وضعیت بهتری نسبت به سامانه‌های مبتنی بر دیزل قرار دارند. بنابراین، برق‌دار کردن چاه‌های کشاورزی دیزلی باید در اولویت سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های کلان بخش کشاورزی کشور قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌هاست.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: ثنا رحمتی و بختیار کریمی؛ تهیه گزارش پژوهش: پیمان طهماسبی؛ تحلیل داده‌ها: پیمان طهماسبی و بختیار کریمی
مشارکت نویسندگان در مقاله مستخرج از پایان‌نامه تقریباً به شکل زیر باشد:
نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها
نویسنده دوم: طراحی پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله
نویسنده سوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، جمع‌آوری داده‌ها و اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه کردستان، دانشکده کشاورزی در قالب پژوهانه پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول و همچنین پژوهانه برای سایر نویسندگان انجام شده است.

سپاسگزاری

در پایان از دانشگاه کردستان برای حمایت مالی این پژوهش در قالب پایان‌نامه و همچنین از شرکت برق منطقه‌ای استان کردستان بابت همکاری در تهیه اطلاعات برق مصرفی مزارع مورد مطالعه، همچنین از سرکار خانم دکتر زینب فتحی تیلکو کارمند جهاد کشاورزی استان کردستان بابت همکاری، تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

منابع

- اسلامی، زینب، جنت‌رستمی، سمیه، اشرف زاده، افشین، و پورمحمد، یاور. (۱۳۹۹) تأثیر رویکرد پیوندی آب، انرژی و غذا در مدیریت یکپارچه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود. *نشریه آب و خاک*، ۳۴(۱)، ۲۵-۱۱.
<https://doi.org/10.22067/jsvw34i1.81897>
- تقی نژاد، جبرائیل، و واحدی، عادل. (۱۴۰۰). مدل سازی الگوی مصرف انرژی و تحلیل حساسیت نهاده‌ها در تولید گندم آبی، مطالعه موردی: استان اردبیل. *مجله مکانیزاسیون کشاورزی*، ۶(۴)، ۱۹-۱۱. <https://doi.org/10.22034/jam.2022.14202>
- جوزی، مهدی، ابراهیمی پاک، و نیازعلی، تافته، آرش. (۱۴۰۴). تعیین بهره‌وری فیزیکی آب مصرفی گندم در اقلیم‌های مختلف استان کرمانشاه. *مجله مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱۵(۱)، ۱۷۸-۱۵۹.
<https://doi.org/10.22098/mmws.2024.14879.1445>
- 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. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۹(۴)، ۱۲۵-۱۱۰.
<https://doi.org/10.22034/iwrr.2023.177609>
- سالمی، حمیدرضا، و رضوانی، سید معین‌الدین. (۱۳۹۵). ارزیابی سیستم آبیاری بارانی در شرایط زارعین (استان اصفهان و همدان). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳(۲۳)، ۳۵۰-۳۴۵.
<https://dx.doi.org/10.22069/jwfst.2016.3204>

- سلیمی سبحان، محمدرضا، عینالی، جمشید، جوان، فرهاد، و هاشمی، معصومه. (۱۳۹۷). مکان یابی سکونتگاه های روستایی جدید با ملاحظات پدافند غیرعامل (مورد مطالعه: شهرستان قروه). *پژوهشنامه جغرافیای انتظامی*، ۶(۲۳)، ۱۵۸-۱۳۵.
<https://sid.ir/paper/379102/fa>
- شیخ‌زین‌الدین، آذر، و دهقان‌پور، حامد. (۱۴۰۱). بررسی اقتصادی نقش تغییر نظام آبیاری در بهره‌وری آب شبکه آبیاری و زهکشی دروزن. *مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۳۰(۳)، ۲۸۶-۲۶۷.
<https://doi.org/10.30490/aead.2023.354981.1353>
- 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.
<https://doi.org/10.22067/gsc.v11i2.26148>
- طهماسبی، پیمان، و زارع ایبانه، حمید. (۱۴۰۴). مقایسه بهره‌وری انرژی در سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی در کشت گندم و یونجه (مطالعه موردی: پایاب سد مخزنی سورال، استان کردستان). *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۵(۲)، ۹۳-۷۲.
<https://doi.org/10.22126/atwe.2025.11936.1160>
- طهماسبی، پیمان. (۱۴۰۳). اصول مدیریت منابع آب. انتشارات قلم محقق، اردبیل، ایران. <https://civilica.com/p/502914>
- 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). *مجله آب و خاک*، ۳۸(۶)، ۶۹۷-۶۸۳.
<https://doi.org/10.22067/jsw.2025.90134.1439>
- طهماسبی، پیمان، مقدم‌نیا، آرمان، گل‌محمدی قانع، پگاه، فتحی، آرام، کریمی، بختیار، و قدرشناس، هیرش. (۱۴۰۴). ارزیابی کارایی انرژی مصرفی مزارع سبب‌زمینی و گندم تحت سامانه آبیاری بارانی (مطالعه موردی: پایاب سد مخزنی سورال، استان کردستان)، *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۵(۳)، ۱۹-۳۷.
<https://doi.org/10.22125/iwe.2025.501965.1852>
- عاشوری، وحید، هاشمی‌گرم‌دره، سید ابراهیم، هاشمی‌شاهدانی، سید مهدی، و روزبهانی، عباس. (۱۴۰۲). بررسی میزان مصرف آب و انرژی در سطح مزارع شبکه آبیاری قزوین. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۳(۲)، ۳۱۰-۲۹۵.
<https://doi.org/10.22059/jwim.2022.323089.869>
- علی‌آبادی، حسن، علیزاده، امین، و عرفانی، عاطفه. (۱۳۹۴). بهره‌وری مصرف آب و انرژی در سامانه‌های مختلف آبیاری (مطالعه موردی ذرت بذری در کشت و صنعت جوین) در استان خراسان رضوی. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ۹(۴)، ۵۸۲-۵۷۱.
<https://sid.ir/paper/131560/fa>
- عموئی بیجائییه، صادق، خالدیان، محمدرضا، و صورتی زنجانی، رضا. (۱۴۰۲). بهبود بهره‌وری آب و انرژی با کاربرد سامانه هوشمند آبیاری بارانی توتستان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۷(۲)، ۳۷۵-۳۸۵.
https://idj.aid.ir/article_170371.html
- 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>
- قاسمی مبتکر، حسن. (۱۳۹۸). بررسی روند مصرف انرژی در دو سامانه آبیاری غرقابی و تحت فشار: مطالعه موردی یک مزرعه صد هکتاری در همدان. *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۰(۴)، ۸۰۹-۸۰۱.
<https://doi.org/10.22059/ijbse.2019.281690.665189>
- قدمی 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)، ۸۴۲-۸۳۱.
https://idj.html.aid.ir/article_182244
- قدمی فیروزآبادی، علی، دهقانی سانجیح، حسین، خوش‌روش، مجتبی، و سیدان، سید محسن. (۱۳۹۴). بررسی راندمان انرژی و مصرف آب در ایستگاه‌های پمپاژ گازوئیلی. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۲۹(۳)، ۳۷۷-۳۶۷.
<https://doi.org/10.22092/jwra.2015.103060>
- لونی، ریحانه، و شریف‌زاده، مهدی. (۱۴۰۱). مروری بر مطالعات همبست آب، انرژی و غذا در ایران: ضرورت، چالش‌ها و راه‌کارهای پیشنهادی. *نشریه پایداری، توسعه و محیط زیست*، ۳(۱۱)، ۴۹-۲۹.
<https://www.magiran.com/p2515271>
- مفاخری، صلاح، ویسی، هادی، خوشبخت، کورس، و نظری، رضا. (۱۴۰۰). ارزیابی پایداری پیوند سیستم‌های آب - انرژی‌غذا در محصول‌های کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان دهگلان). *علوم محیطی*، ۱۹(۴)، ۳۰۶-۲۷۸.
<https://doi.org/10.52547/envs.2021.222630.1078>

- ناصری، ابوالفضل، و نیکان فر، رامین. (۱۳۹۸). آینده پژوهی بهره‌وری انرژی در تولید گندم آبی در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه. *مجله علوم محیطی*، ۱۷(۲)، ۸۰-۱۰۱. <https://sid.ir/paper/117661/fa>
- ناصری، ابوالفضل، و نیکان فر، رامین. (۱۳۹۸). آینده پژوهش بهره‌وری انرژی گندم آبی در تولید حاشیه شرقی ارومیه. *فصلنامه علوم و محیطی*، ۱۷(۲)، ۸۱-۱۰۲. https://envs.sbu.ac.ir/article_98063.html
- 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). *فناوری های پیشرفته در بهره‌وری آب*. ۳(۴)، ۱۳۷-۱۱۶. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10298.1106>
- وزارت جهاد کشاورزی، (۱۴۰۲). آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱ محصولات زراعی (جلد اول). *انشارات معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز آمار، فناوری و اطلاعات و ارتباطات، تهران، ایران*. <https://agrodl.ir/statistics>
- یوسفی، محمد، و مهدوی دامغانی، ع. (۱۳۹۲). بررسی بهره‌وری مصرف آب و انرژی در بوم نظام‌های فاریاب استان کرمانشاه. *بوم‌شناسی کشاورزی*. ۵(۲)، ۱۱۳-۱۲۱. <https://doi.org/10.22067/jag.v5i2.24462>

References

- Ahmad, A., & Khan, S. (2009). On comparison of water and energy productivities in pressurized irrigation systems. *Energy*, 10(6.93), 4-29. <http://mssanz.org.au/modsim09/>
- Ahmed, M. D., Ghulam, H., & Zeng, Y. (2025). Ascertaining the Robust Drought Tolerant Wheat Germplasm for Sustainable Agriculture. *Polish Journal of Environmental Studies*, 34(3). 2991-3001. <https://doi.org/10.15244/pjoes/188698>
- Ahmed, R. S., Abuarab, M. E., Baiomy, M. A., & Ibrahim, M. M. (2024). Heavy metals removal from industrial wastewater using bio-adsorbent materials based on agricultural solid wastes through batch and continuous flow mechanisms. *Journal of Water Process Engineering*, 57, 104665. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104665>
- Aliabadi, Hassan., Alizadeh, Amin., & Erfani, Atefeh. (2015). Water and energy use efficiency in different irrigation systems (Case study: Seed corn cultivation in Joveyn agro-industry, Razavi Khorasan Province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9(4), 571–582. (In Persian) <https://sid.ir/paper/131560/fa>
- Amoioe Bijayie, Sadegh, Khaledian, Mohammad Reza, & Soorati Zanjani, Reza. (2023). Improving water and energy productivity using a smart sprinkler irrigation system in mulberry orchards. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 17(2), 375–385. (in Persian) https://idj.iaid.ir/article_170371.html
- AOSTAT. 2024. Online FAO StaΘsΘcs Database. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, Italy. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Ashouri, Vahid., Hashemi-Garm Darreh, Seyed Ebrahim., Hashemi, Shahdani., & Rouzbehani, Abbas. (2023). Evaluation of water and energy consumption in Qazvin irrigation network farms. *Water and Irrigation Management*, 13(2), 295–310. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.323089.869>
- Beheshti Tabar, I., Keyhani, A., & Rafiee, S. (2010). Energy balance in Iran's agronomy (1990–2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 849-855. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.024>
- Bhandari, R., Paudel, H., Nyaupane, S., & Poudel, M. R. (2024). Climate resilient breeding for high yields and stable wheat (*Triticum aestivum* L.) lines under irrigated and abiotic stress environments. *Plant Stress*, 11, 100352. <https://doi.org/10.26480/rfna.02.2021.59.62>
- Bizikova, L., Roy, D., Swanson, D., Venema, H. D., & McCandless, M. (2013). The water-energy-food security nexus: Towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management. *The International Institute for Sustainable Development Publications*, Manitoba Canada. <https://www.researchgate.net/publication/356879079>
- Dehn Mohammadi, Mostafa., & Abbasi, Roya. (2023). Measurement of virtual water and comparison of technical and market productivity of virtual water in agriculture: A case study of selected irrigated crops in Kurdistan Province. *Iranian Water Resources Research*, 19(4), 110–125. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/iwrr.2023.177609>
- 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>
- Elsoragaby, S., Yahya, A., Mahadi, M. R., Nawi, N. M., & Mairghany, M. (2019). Analysis of energy use and greenhouse gas emissions (GHG) of transplanting and broadcast seeding wetland rice cultivation. *Energy*, 189,116160. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116160>
- Endo, A., Burnett, K., Orencio, P.M., Kumazawa, T., Wada, C.A., Ishii, A., Tsurita, I., & Taniguchi, M. (2015). Methods of the water-energy-foodnexus. *Water*. 7, 5806–5830. <https://doi.org/10.3390/w7105806>

- Eslami, Zeynab., Jannat-Rostami, Somayeh., Ashrafzadeh, Afshin., & Pourmohammad, Yavar. (2020). The impact of the water-energy-food nexus approach on integrated water resources management of the Sefidrood irrigation and drainage network. *Water and Soil*, 34(1), 11–25. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jsw.v34i1.81897>
- FAO. (2002). Financial and Economic Appraisal of Irrigation Projects. Irrigation Manual Module 11 Publications, Rome, Italy. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a8c5d789-6b92-4229-941e-4ee341ffec68/content>
- FAO. (2014). The water- energy- food nexus. *Food and Agriculture Organization of the United Nations Publications*, Rome, Italy. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1975296>
- Ferrari, M., Benvenuti, L., Rossi, L., De Santis, A., Sette, S., Martone, D., ... & Turrini, A. (2020). Could dietary goals and climate change mitigation be achieved through optimized diet? The experience of modeling the national food consumption data in Italy. *Frontiers in nutrition*, 7, 48. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00048>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106868>
- Ghadami Firoozabadi, A., & Akbari, M. (2023). Impact of drip (tape) irrigation on yield and water productivity of wheat and soil salinity under farmer conditions (Case study: Hamedan Province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 17(5), 831–842. (In Persian) https://idj.iaid.ir/article_182244.html
- Ghadami Firoozabadi, Ali., Dehghani Sanij, Hossein., Khoshroosh, Mojtaba., & Seydan, Seyed Mohsen. (2015). Energy efficiency and water consumption assessment in diesel pumping stations. *Water Research in Agriculture*, 29(3), 367–377. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/jwra.2015.103060>
- Ghasemi Mobtaker, H. (2019). Analysis of energy consumption trends in flood and pressurized irrigation systems: A case study of a 100-hectare farm in Hamedan. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(4), 801–809. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijbse.2019.281690.665189>
- Gholami, Z., Ebrahimian, H., & Nouri, H. (2015). Water and energy resources are limited; however, water and energy consumption for production of agricultural crops is increasing to meet the food dema. *Food Engineering Research*, 16(3), 31–44. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/jaer.2015.102988>
- Gholami, Z., Ebrahimian, H., & Noori, H. (2015). Analysis of water and economic energy productivity in sprinkler and surface irrigation systems using groundwater (Case study: Qazvin plain). *Journal of Agricultural Engineering Research*, 16(3), 31–44. (In Persian) <https://sid.ir/paper/28231/fa>
- Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., & Aghel, H. (2011). A case study of energy use and economic analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy*, 88(1), 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.04.028>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.013>
- Jowzi, Mehdi., Ebrahimi Pak, Niazali., & Tafteh, Arash. (2025). Determining the physical productivity of wheat water consumption in different climates of Kermanshah Province. *Water and Soil Modeling and Management*, 5(1), 159–178. (In Persian) <https://doi.org/10.22098/mmws.2024.14879.1445>

- Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R. M., & Ramdani, A. (1999). CIGR handbook of agricultural engineering. *Energy and biomass engineering Publications*, Paris, France. <https://www.project-management-tool.eu/cigr/sites/default/files/documets/CIGRHandbookVol5.pdf>
- Lawson, M. J., & Keeling, A. A. (1999). Production and physical characteristics of composted poultry carcasses. *British Poultry Science*, 40(5), 706-708. <https://doi.org/10.1080/00071669987133>
- Louni, R., & Sharifzadeh, M. (2022). A review of water-energy-food nexus studies in Iran: Necessities, challenges, and proposed solutions. *Journal of Sustainability, Development, and Environment*, 3(11), 29-49. (In Persian) <https://www.magiran.com/p2515271>
- Ma, D., Wang, C., Feng, J., & Xu, B. (2021). Wheat grain phenolics: a review on composition, bioactivity, and influencing factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(15), 6167-6185. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11428>
- Maroufpoor, S., Maroufpoor, E., & Khaledi, M. (2019). Effect of farmers' management on movable sprinkler solid-set systems. *Agricultural Water Management*, 223, 105691. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105691>
- Ministry of Agriculture Jihad. (2023). Agricultural Yearbook 1401: Field Crops (Volume I). *Publications of the Planning and Economic Deputy, Center for Statistics, Technology, and Information and Communications*, Tehran, Iran. (In Persian) <https://agrod1.ir/statistics>
- Mofakhari, S., Veisi, H., Khoshbakht, K., & Nazari, R. (2021). Assessment of sustainability in water-energy-food systems linkage in agricultural products (Case study: Dehgolan County). *Environmental Sciences*, 19(4), 278-306. (In Persian) <https://doi.org/10.52547/envs.2021.222630.1078>
- Naseri, A., & Nikanfar, R. (2019). Foresight of energy productivity in irrigated wheat production on the eastern shore of Lake Urmia. *Environmental Sciences*, 17(2), 80-101. (In Persian) <https://sid.ir/paper/117661/fa>
- Naseri, A., & Nikanfar, R. (2019). Future research on energy productivity in irrigated wheat production along the eastern shore of Urmia. *Environmental Science Quarterly*, 17(2), 81-102. (In Persian) https://envs.sbu.ac.ir/article_98063.html
- Niyazmand, Roya., Moghadamnia, Arman., Tahmasebi, Peyman., Nikmehr, Saman., & Maroufpoor, Isa. (2023). Water and energy productivity of potato in sprinkler irrigation systems (Case study: Dehgolan plain, Kurdistan Province). *Advanced Technologies in Water Productivity*, 3(4), 116-137. (In Persian) <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10298.1106>
- Ozkan, Burhan, Akcaoz, Handan & Fert, Cemal. (2004). Energy Input Output Analysis in Turkish Agriculture. *Renewable Energy*, 29, 39-51. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00135-](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00135-)
- Salami, Hamidreza., & Rezvani, Seyed Moeinoddin. (2016). Evaluation of sprinkler irrigation systems under farmers' conditions (Isfahan and Hamedan Provinces). *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 3(23), 345-350. (In Persian) <https://dx.doi.org/10.22069/jwfst.2016.3204>
- Salimi Sobhan, S., Mohammadreza, M., Einali, J., Javan, F., & Hashemi, M. (2018). Locating new rural settlements considering passive defense principles (Case study: Qorveh County). *Journal of Law Enforcement Geography Research*, 6(23), 135-158. (in Persian) <https://sid.ir/paper/379102/fa>
- Sheikh-Zeynaldin, Azar., & Dehghanpour, Hamed. (2022). Economic analysis of irrigation system change on water productivity in Darvazan irrigation and drainage network. *Agricultural Economics and Development*, 30(3), 267-286. (In Persian) <https://doi.org/10.30490/aead.2023.354981.1353>
- Singh, G. (2000). Energy conservation through efficient mechanized farming. *Agricultural Engineering Today*, 24(2), 35-50. <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:act&volume=24&issue=2&article=003>

- Tabar, I. B., Keyhani, A., & Rafiee, S. (2010). Energy balance in Iran's agronomy (1990–2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 849-855. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.024>
- Taghinejad, J., & Vahedi, A. (2021). Modeling energy consumption patterns and sensitivity analysis of inputs in irrigated wheat production: A case study of Ardabil Province. *Agricultural Mechanization*, 6(4), 11–19. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/jam.2022.14202>
- Tahmasebi, P. (2024). Principles of Water Resources Management. *Ghulam-e-Mohaqeq Publications*, Ardabil, Iran. (In Persian) <https://civilica.com/p/502914>
- Tahmasebi, P., & Zare-Abiane, H. (2025). Comparison of energy productivity in surface and sprinkler irrigation systems in wheat and alfalfa cultivation (Case study: Downstream of Soural Reservoir Dam, Kurdistan Province). *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 5(2), 72-93. (In Persian) <https://doi.org/10.22126/atwe.2025.11936.1160>
- Tahmasebi, Peyman., Dalvand, Fatemeh., Hoseini, Seyed Abolfazl., Karimi, Bakhtiar., & Ghadarshenas, Hirsh. (2024). Comparative study of energy efficiency in two sprinkler irrigation systems in wheat cultivation (Case study: Dehgolan plains, Kurdistan Province). *Water and Soil*, 38(6), 683–697. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jsw.2025.90134.1439>
- Tahmasebi, Peyman., Moghadamnia, Arman., Golmohammadi Ghaneh, Pegah., Fathi, Aram., Karimi, Bakhtiar., & Ghadarshenas, Hirsh. (2025). Evaluation of energy efficiency in potato and wheat farms under sprinkler irrigation systems (Case study: Downstream of Soural Reservoir Dam, Kurdistan Province). *Scientific-Research Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran*, 15(3), 19–37. (In Persian) <https://doi.org/10.22125/iwe.2025.501965.1852>
- Yousefi, M., & Mahdavi Damghani, A. (2013). Evaluation of water and energy productivity in irrigated agro-ecosystems of Kermanshah Province. *Agroecology*, 5(2), 113–121. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jag.v5i2.24462>
- Zhao, Y., Wang, Q., Jiang, S., Zhai, J., Wang, J., He, G., ... & Zhu, Y. (2020). Irrigation water and energy saving in well irrigation district from a water-energy nexus perspective. *Journal of cleaner production*, 267, 122058. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122058>