



Assessment of Physical and Economic Water Productivity Indicators in Selected Agricultural Crops of Lorestan Province

Fatemeh Azadpour¹, Masoud Shakarami^{2*}, Seyed Yaghoub Karim³

- 1- Master's degree graduate in Water Resources Engineering., Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Lorestan, Iran.
- 2- Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Lorestan, Iran.
- 3- Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Lorestan, Iran.

*Corresponding author: Shakarami.mas@lu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	The present study was conducted in 2025 with the aim of evaluating economic indicators and water productivity in the production of rice, potato, and forage maize in Lorestan Province. The required data were collected through questionnaires and face-to-face interviews with farmers. The sample size was calculated using Cochran's formula, based on which 264 farmers were selected from the counties of Kuhdasht, Azna, and Dorud. The required information was collected through examining production systems and the costs incurred for each crop, and economic indicators including Gross Value of Production (GVP), Gross Revenue (GR), Net Revenue (NR), Variable Costs (VCP), Fixed Costs (FCP), Total Production Costs (TCP), and Benefit-Cost Ratio (BCR) were calculated. In addition, the physical water productivity (CPD) and economic water productivity (NBPD) indices were estimated for each crop. The results showed that rice, with a Gross Value of Production of 5527142.85 thousand Rials per hectare, a Net Revenue of 3495525.19 thousand Rials per hectare, and a Benefit-Cost Ratio of 2.72, had the highest economic profitability. Potato also showed the best performance among the three studied crops in terms of physical and economic water productivity, with values of 5.47 kg per cubic meter and 403.22 thousand Rials per cubic meter, respectively. In contrast, forage maize, despite having the lowest Total Production Costs and Net Revenue, had the lowest Benefit-Cost Ratio of 1.23 and the lowest Gross Value of Production (1276862.74 thousand Rials per hectare), and its economic water productivity (NBPD) was also 38.59, which was the lowest economic water productivity among these three crops.
Article history:	
Submit Date: 2026/07/31	
Accept Date: 2026/10/17	
Keywords: Economic Indicators, Forage Maize, Potato, Rice, Water Productivity.	
Cite this article: Azadpour, Fatemeh., Shakarami, Masoud., Karim Seyed, Yaghoub. (2026). Assessment of Physical and Economic Water Productivity Indicators in Selected Agricultural Crops of Lorestan Province. <i>Hydrogeology</i> , 10 (2), 115-131. DOI: http://doi.org/10.22034/hydro.2026.73884.1347	
	© The Author(s). DOI: http://doi.org/10.22034/hydro.2026.73884.1347
	Publisher: University of Tabriz.

Expanded Abstract

Introduction

Water scarcity and increasing competition among different sectors for available water resources have made efficient water management one of the major challenges of sustainable agricultural development. Agriculture is the largest consumer of water resources in Iran, and improving water productivity has become a key strategy for maintaining agricultural production while reducing pressure on limited water resources. In recent years, attention has shifted from increasing water use toward improving the efficiency of water consumption through better management practices and more efficient production systems. Water productivity is considered one of the most important indicators for evaluating the performance of agricultural systems. It can be assessed from both physical and economic perspectives. Physical water productivity represents the quantity of crop produced per unit of water consumed, whereas economic water productivity reflects the economic return generated from each unit of water used. Simultaneous evaluation of these indicators provides a comprehensive understanding of the efficiency of water use and supports decision-making regarding crop pattern optimization and sustainable resource allocation. Several studies conducted in Iran and other countries have shown that water productivity is strongly influenced by crop type, climatic conditions, irrigation methods, management practices, and the economic value of agricultural products. Previous research has also demonstrated that crops with high physical water productivity do not necessarily possess high economic water productivity. Therefore, evaluating both indicators simultaneously is essential for sustainable agricultural planning. Lorestan Province is one of the important agricultural regions of western Iran and produces a variety of crops under different climatic conditions. Rice, potato, and forage maize are among the most important crops cultivated in the province and represent different production systems with distinct water requirements and economic characteristics. Considering the increasing importance of water resource management and the need for economically efficient crop production systems, this study aimed to evaluate and compare economic indicators, physical water productivity, and economic water productivity of rice, potato, and

forage maize production systems in Lorestan Province during the 2025 growing season.

Materials and Methods

This study was conducted in the counties of Dorud, Azna, and Kuhdasht in Lorestan Province during the 2025 agricultural year. These counties were selected because of their different climatic conditions and dominant cropping patterns. Rice is the major crop in Dorud, forage maize is widely cultivated in Kuhdasht, and potato represents one of the most important crops in Azna. The statistical population consisted of 850 farmers engaged in the production of the selected crops. The required sample size was determined using Cochran's formula for finite populations. Based on the calculations, 264 farmers were selected and interviewed. Data were collected through structured questionnaires and face-to-face interviews. The questionnaire included information regarding cultivated area, crop yield, water consumption, production costs, and various agricultural inputs used during planting, growing, and harvesting operations. Economic indicators were calculated to evaluate the profitability of each production system. These indicators included Gross Revenue (GR), Gross Value of Production (GVP), Net Revenue (NR), Variable Costs of Production (VCP), Fixed Costs of Production (FCP), Total Costs of Production (TCP), and Benefit-Cost Ratio (BCR). Crop prices were estimated based on average prices reported by farmers and official statistics. To assess water-use efficiency, two water productivity indicators were calculated. Crop Physical Productivity (CPD) was determined as the ratio of crop yield to the amount of water consumed. Economic Water Productivity (NBPD) was calculated as the ratio of net revenue to the volume of water consumed. Furthermore, to facilitate comparison among crops and eliminate differences in measurement scales, standardized Z-scores were calculated for both physical and economic water productivity indicators. Microsoft Excel software was used for data processing, calculations, and preparation of tables.

Results and Discussion

The results revealed considerable differences among the studied crops regarding economic indicators and water productivity. Rice showed the highest economic performance among the three crops. The Gross Value of Production reached 5527142.85 thousand Rials ha^{-1} , while

Gross Revenue and Net Revenue were estimated at 3672775.19 and 3495525.19 thousand Rials ha^{-1} , respectively. The Benefit-Cost Ratio was calculated as 2.72, indicating that rice production generated the highest economic return per unit of production cost. These findings demonstrate the strong economic position of rice production in the study area despite its relatively high water requirements. Potato ranked second in terms of economic performance. Gross Value of Production and Net Revenue were estimated at 5397877.35 and 2649188.67 thousand Rials ha^{-1} , respectively. Potato production had the highest Total Cost of Production, amounting to 2748688.67 thousand Rials ha^{-1} . The relatively high production costs were mainly associated with machinery, seed, fertilizer, fuel, and irrigation expenses. Nevertheless, the crop remained economically profitable with a Benefit-Cost Ratio of 1.96. Forage maize exhibited the lowest economic performance among the selected crops. Gross Value of Production, Gross Revenue, and Net Revenue were estimated at 1276862.74, 327186.27, and 239313.72 thousand Rials ha^{-1} , respectively. The Benefit-Cost Ratio was only 1.23, indicating a substantially lower profitability compared with rice and potato. Although forage maize had the lowest Total Cost of Production (1037549.02 thousand Rials ha^{-1}), its relatively low market value limited its economic performance. The evaluation of water productivity indicators provided additional insights into the efficiency of water use. Potato achieved the highest physical water productivity, with a CPD value of 5.47 kg m^{-3} . It also recorded the highest economic water productivity, with an NBPD value of 403.22 thousand Rials m^{-3} . These results indicate that potato was the most efficient crop in converting water into both physical output and economic return. Forage maize ranked second in terms of physical water productivity, with a CPD value of 5.14 kg m^{-3} . This result demonstrates the crop's ability to generate relatively high biomass per unit of water consumed. However, its economic water productivity was only 38.59 thousand Rials m^{-3} , representing the lowest value among the studied crops. The discrepancy between physical and economic performance indicates that high physical productivity does not necessarily result in high economic efficiency. Rice showed a different pattern. Although it generated the highest economic profitability, its physical water productivity was only 0.19 kg m^{-3} , the lowest

value among all crops. This outcome reflects the water-intensive nature of rice cultivation. Nevertheless, rice maintained a relatively high economic water productivity because of its higher economic value and profitability. The standardized Z-score analysis further confirmed these findings. Potato was the only crop that achieved positive values for both physical and economic water productivity indicators, demonstrating superior overall performance. Rice displayed positive economic water productivity but negative physical water productivity, while forage maize showed positive physical water productivity but negative economic water productivity. These results emphasize the importance of evaluating both dimensions simultaneously when developing agricultural and water management policies.

Conclusions

The results of this study demonstrated significant differences among rice, potato, and forage maize production systems regarding economic performance and water-use efficiency in Lorestan Province. Rice achieved the highest economic profitability, recording the greatest Gross Value of Production, Net Revenue, and Benefit-Cost Ratio. Therefore, it can be considered the most profitable crop from a purely economic perspective. However, rice also exhibited the lowest physical water productivity because of its high water consumption requirements. Potato showed the highest physical and economic water productivity values and was the most efficient crop in transforming water resources into both agricultural output and economic returns. Although potato production required the highest production costs, its economic returns and water productivity indicators justified its cultivation under the conditions of the study area. Forage maize recorded the lowest values for most economic indicators and economic water productivity. Nevertheless, its physical water productivity was relatively high, indicating efficient biomass production per unit of water consumed. Overall, the findings suggest that decisions regarding crop pattern selection should not be based solely on economic profitability or physical production performance. Instead, both economic and water productivity indicators should be considered simultaneously to achieve sustainable agricultural development, improve farmers' income, and ensure efficient utilization of limited water resources in Lorestan Province.

ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات کشاورزی منتخب استان لرستان

فاطمه آزادپور^۱ , مسعود شاکرمی^{۲*} , سید یعقوب کریمی^۳ 

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران.

۳- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران.

*نویسنده مسئول: Shakarami.mas@lu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۲۵ کلیدواژه‌ها: برنج، بهره‌وری آب، ذرت علوفه‌ای، سیب‌زمینی، شاخص‌های اقتصادی.	پژوهش حاضر با هدف ارزیابی شاخص‌های اقتصادی و بهره‌وری آب در تولید محصولات برنج، سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای در استان لرستان در سال ۱۴۰۴ انجام شد. داده‌های مورد نیاز از طریق تکمیل پرسشنامه و مصاحبه حضوری با کشاورزان انجام شد. حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران محاسبه گردید و براساس آن تعداد ۲۶۴ کشاورز در شهرستان‌های کوهدشت، ازنا و دورود انتخاب شدند. اطلاعات مورد نیاز از طریق بررسی نظام‌های تولید و هزینه‌های مصرفی هر محصول جمع‌آوری و شاخص‌های اقتصادی شامل ارزش ناخالص تولید (GVP)، درآمد ناخالص (GR)، درآمد خالص (NR)، هزینه‌های متغیر (VCP)، هزینه‌های ثابت (FCP)، هزینه کل تولید (TCP) و نسبت سود به هزینه (BCR) محاسبه گردید. همچنین شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب (CPD) بهره‌وری اقتصادی آب (NBPD) برای هر محصول برآورد شدند. نتایج نشان داد که برنج با ارزش ناخالص تولید ۵۵۲۷۱۴۲/۸۵ هزار ریال در هکتار، درآمد خالص ۳۴۹۵۵۲۵/۱۹ هزار ریال در هکتار و نسبت سود به هزینه ۲/۷۲، بالاترین سودآوری اقتصادی را دارا است. سیب‌زمینی نیز از نظر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب با مقادیر ۵/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب و ۴۰۳/۲۲ هزار ریال بر مترمکعب، بهترین عملکرد را در بین سه محصول مورد مطالعه نشان داد. در مقابل، ذرت علوفه‌ای با وجود پایین‌ترین میزان هزینه کل تولید و درآمد خالص، پایین‌ترین نسبت سود به هزینه ۱/۲۳ و کمترین ارزش ناخالص تولید (۱۲۷۶۸۶۲/۷۴ هزار ریال در هکتار) را دارا بود و بهره‌وری اقتصادی آب (NBPD) آن نیز ۳۸/۵۹ بود که کمترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب در میان این ۳ محصول است. پژوهش نشان داد که برنج از نظر سودآوری اقتصادی در صدر قرار دارد، اما سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای نیز به ترتیب از نظر بهره‌وری آب عملکرد خوبی دارند، لذا الگوی کشت باید با توجه به محدودیت منابع آب و بهره‌وری انتخاب شود تا سودآوری و استفاده پایدار از آب تضمین گردد.

استناد: آزادپور، فاطمه، شاکرمی، مسعود، کریمی، سید یعقوب. (۱۴۰۵). ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات

کشاورزی منتخب استان لرستان، هیدروژئولوژی، ۱۰ (۲)، ۱۱۵-۱۳۱. DOI: <http://doi.org/10.22034/hydro.2026.73884.1347>

ناشر: دانشگاه تبریز.

© نویسندگان.



DOI: <http://doi.org/10.22034/hydro.2026.73884.1347>

مقدمه

افزایش جمعیت جهان و به دنبال آن، ضرورت پاسخ‌گویی به نیازهای غذایی، موجب گسترش فعالیت‌های کشاورزی و افزایش فشار بر منابع طبیعی شده است (دلبری و همکاران، ۱۳۹۵). مدیریت بهینه منابع آب در بخش کشاورزی به دلیل نقش تعیین‌کننده آن در تأمین امنیت غذایی و حفظ منابع طبیعی، به یکی از مهم‌ترین چالش‌های توسعه پایدار تبدیل شده است. از آنجا که بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در کشور محسوب می‌شود، ارتقای بهره‌وری مصرف آب می‌تواند نقش مؤثری در کاهش فشار بر منابع آبی و افزایش پایداری تولیدات کشاورزی ایفا کند. در این راستا، رویکردهای نوین مدیریت آب به جای تأکید بر افزایش مصرف آب، بر استفاده کارآمدتر از این منبع از طریق فناوری‌های نوین و بهبود شیوه‌های مدیریتی متمرکز شده‌اند. اجرای چنین راهکارهایی ضمن افزایش تولید، موجب بهبود بهره‌وری آب نیز خواهد شد (Chibarabada et al, 2020).

کاهش بارندگی و افزایش متوسط تبخیر، موجب تشدید خشکی در کشور شده و کمبود منابع آب را به یکی از مهم‌ترین چالش‌های بخش کشاورزی تبدیل کرده است. از سوی دیگر، مصرف آب در بخش کشاورزی ایران طی دهه‌های اخیر روندی افزایشی داشته و از حدود ۴۴ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۴۰ به حدود ۸۶ میلیارد مترمکعب در سال‌های اخیر رسیده است. در شرایط کنونی، بخش کشاورزی حدود ۸۹ درصد از منابع آب کشور را به خود اختصاص می‌دهد؛ در حالی که این میزان در مقیاس جهانی حدود ۷۰ درصد است (جوزی و همکاران، ۱۴۰۲). با توجه به محدودیت منابع آبی و افزایش رقابت میان بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب، استفاده کارآمد از این منبع ارزشمند به یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است. بنابراین، برنامه‌ریزی برای افزایش بهره‌وری آب می‌تواند نقش مهمی در کاهش فشار بر منابع آبی و ارتقای پایداری تولیدات کشاورزی ایفا کند (Nasseri et al, 2017).

توزیع نامتوازن منابع آب، افزایش تقاضا، محدودیت منابع آبی و کاهش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، در کنار پایین بودن بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، از مهم‌ترین چالش‌های مدیریت منابع آب هستند. در این شرایط، افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی یکی از راهکارهای مدیریت تقاضای آب و

استفاده مؤثرتر از منابع آبی محسوب می‌شود (محمدپور و همکاران، ۱۳۹۹). در سال‌های اخیر مفهوم بهره‌وری آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی عملکرد سیستم‌های کشاورزی مطرح شده است. بهره‌وری آب نه تنها میزان استفاده بهینه از منابع آبی را نشان می‌دهد، بلکه امکان مقایسه اقتصادی و فنی محصولات مختلف را نیز فراهم می‌سازد. به طور کلی، بهره‌وری آب در دو قالب بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بهره‌وری فیزیکی آب بیانگر مقدار محصول تولید شده به ازای هر مترمکعب آب مصرفی است، در حالی که بهره‌وری اقتصادی آب ارزش اقتصادی حاصل از مصرف هر مترمکعب آب را نشان می‌دهد. بررسی همزمان این دو شاخص می‌تواند تصویر دقیق‌تری از کارایی مصرف آب در نظام‌های کشاورزی ارائه دهد و مبنای مناسبی برای تصمیم‌گیری در خصوص الگوی کشت و تخصیص منابع آب فراهم آورد (Abbasi et al., 2017). مطالعات متعددی در سطح جهانی و ملی به بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب پرداخته‌اند. (Singh et al. (2006 گزارش کردند که بهره‌وری فیزیکی آب برای محصولات گندم، برنج و پنبه در هند به ترتیب ۱/۰۴، ۰/۸۴ و ۰/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. (Zwart and Bastiaanssen (2004 پژوهشی میانگین بهره‌وری فیزیکی آب برای محصولات گندم، برنج، پنبه و ذرت را به ترتیب ۱/۰۹، ۱/۰۹، ۰/۶۵ و ۰/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تفاوت‌های اقلیمی، مدیریتی و فناوری‌های مورد استفاده می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر بهره‌وری آب محصولات مختلف داشته باشد.

در ایران نیز تحقیقات گسترده‌ای در زمینه بهره‌وری آب انجام شده است. سلیمانی و حسنعلی (۱۳۸۷) ارزش افزوده حاصل از هر مترمکعب آب مصرفی برای محصولات گندم، ذرت، پنبه و پرتقال در شهرستان داراب استان فارس را به ترتیب ۵۴۸/۴، ۶۵۲/۲، ۳۹۱/۸ و ۹۸۴/۶ ریال بر مترمکعب گزارش کردند. همچنین سلطانی و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند که هر ۱۰۰۰ لیتر آب مصرفی در تولید محصولات گوجه‌فرنگی، گندم، جو، ذرت و چغندر قند به ترتیب ۲۳۴۵، ۷۴۰، ۳۹۶، ۳۴۸ و ۸۳ ریال ارزش خالص اقتصادی ایجاد می‌کند. در ارزیابی جامعی که توسط فرح‌زا و همکاران (۱۳۹۹) در دشت

و محصولاتی نظیر زعفران و پسته بالاترین بهره‌وری اقتصادی آب را به خود اختصاص داده‌اند. این پژوهش تأکید می‌کند که بهره‌وری اقتصادی آب لزوماً با بهره‌وری فیزیکی آن همسو نیست و هر یک می‌تواند منجر به اتخاذ سیاست‌های متفاوت در مدیریت منابع آب شود. در همین راستا، Fan et al. (2014) با بررسی هشت محصول زراعی در شمال غرب چین نشان دادند که برخی محصولات علی‌رغم برخورداری از بهره‌وری فیزیکی بالاتر، از بهره‌وری اقتصادی پایین‌تری برخوردارند و حذف آن‌ها از الگوی کشت می‌تواند موجب افزایش درآمد خانوارهای کشاورز شود. از سوی دیگر، Karimi and Jolani (2017) در بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب در دشت مشهد نتیجه گرفتند که محصولاتی با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین باید در اولویت اصلاح الگوی کشت قرار گیرند تا ضمن کاهش فشار بر منابع آب، منافع اقتصادی کشاورزان نیز افزایش یابد.

زمانی و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات زراعی دشت بهار همدان دریافتند که بهره‌وری اقتصادی آب در سامانه‌های نوین آبیاری به طور معنی‌داری بیشتر از روش‌های سنتی است. نتایج این مطالعه اهمیت استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری را در افزایش کارایی مصرف آب و بهبود بازده اقتصادی تولیدات کشاورزی تأیید می‌کند. Ghademi and Seyedan (2019) نیز با بررسی سامانه‌های آبیاری یونجه در همدان نشان دادند که استفاده از آبیاری بارانی با کاهش ۳۷ درصدی مصرف آب، موجب افزایش ۶۹ درصدی بهره‌وری مصرف آب شده است. علاوه بر این، نسبت منفعت به هزینه در این سامانه بین ۳/۲ تا ۳/۸ گزارش شد که بیانگر توجیه اقتصادی مناسب استفاده از روش‌های نوین آبیاری است.

مجموع نتایج مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب به شدت تحت تأثیر نوع محصول، شرایط اقلیمی، شیوه مدیریت مزرعه، روش آبیاری و ارزش اقتصادی محصول قرار دارد. بنابراین، ارزیابی همزمان شاخص‌های اقتصادی تولید و شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای انتخاب الگوهای کشت کارآمد، افزایش سودآوری کشاورزان و مدیریت پایدار منابع آب فراهم سازد. بر این اساس، پژوهش حاضر با

مغان انجام شد، بهره‌وری فیزیکی آب برای محصولات گندم، کلزا، سویا، برنج، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای، خربزه، یونجه، گوجه‌فرنگی، جو، شلیل، هندوانه، خیار و چغندر قند را به ترتیب ۱/۲۷، ۰/۵، ۰/۶۷، ۰/۰۶۹، ۴/۵، ۰/۴۵، ۲/۲۵، ۳/۴۶، ۱/۱۹، ۰/۵۵، ۱/۳، ۰/۴۲ و ۵/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌وری اقتصادی آن‌ها را نیز به ترتیب ۱۰۹۸، ۵۷۲، ۷۰۲، ۳۱۳، ۵۴۲، ۲۲۸۶، ۳۲۲، ۹۷، ۸۳۲، ۶۸۵، ۵۴۷، ۲۷۹، ۲۶۷ و ۱۱۱۱ تومان بر مترمکعب محاسبه نمودند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که محصولاتی نظیر ذرت علوفه‌ای، چغندر قند، هندوانه و خربزه از نظر بهره‌وری فیزیکی آب در وضعیت مطلوبی قرار دارند، اما الزاماً از منظر اقتصادی عملکرد برتری ندارند. در مقابل، برخی محصولات با بهره‌وری فیزیکی متوسط یا پایین، به دلیل ارزش اقتصادی بالاتر محصول تولیدی، از بهره‌وری اقتصادی مناسب‌تری برخوردار هستند. این نتایج نشان می‌دهد که ارزیابی همزمان شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی آب برای تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت منابع آب و تعیین الگوی کشت ضروری است؛ زیرا اتکا به تنها یکی از این شاخص‌ها می‌تواند به نتایج متفاوتی در برنامه‌ریزی کشاورزی منجر شود.

در استان گلستان اشراقی و قاسمیان (۱۳۹۱) گزارش کردند که بیشترین بهره‌وری اقتصادی آب مربوط به پنبه آبی در گنبد کاووس با ۱۳۴۹۶ تومان بر مترمکعب بوده است، در حالی که برای برنج دانه بلند مرغوب، برنج پرمحصول و برنج دانه متوسط مرغوب به ترتیب مقادیر ۲۱۰۸، ۹۸۸ و ۹۶۰ تومان بر مترمکعب محاسبه شد. Vazifeh-Duost et al. (2008) نیز در منطقه برخوار اصفهان بهره‌وری فیزیکی آب برای چغندر قند، آفتابگردان و ذرت علوفه‌ای را به ترتیب ۰/۸۷، ۳/۰۳ و ۴۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند که بیانگر توان بالای ذرت علوفه‌ای در تولید ماده خشک به ازای واحد آب مصرفی است. همچنین Mohammadpour Hangarvani and Arsalanbod (2014) در شهرستان ارومیه گزارش کردند که محصول آفتابگردان بیشترین و گندم کمترین بهره‌وری اقتصادی آب را در میان محصولات مورد مطالعه داشته‌اند.

مطالعه وفابخش و همکاران (۱۳۹۷) در دشت‌های استان خراسان رضوی نشان داد که میانگین بهره‌وری فیزیکی آب در محصولات مورد بررسی حدود ۱/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب بوده

محدوده جغرافیایی مورد مطالعه

استان لرستان با مرکزیت شهر خرم‌آباد، با مساحت حدود ۲۸۱۵۷ کیلومترمربع (۱/۷ درصد مساحت کشور) در ناحیه جنوب غربی ایران واقع شده است. این استان از نظر جغرافیایی بین ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری، استان لرستان دارای ۱۱ شهرستان می‌باشد (سالنامه آماری ۱۴۰۰). اقلیم استان لرستان تحت تاثیر توده‌های هوایی مدیترانه‌ای قرار دارد. بر این اساس سه ناحیه آب و هوایی (۱) آب و هوای گرم و خشک جنوب، (۲) آب و هوای معتدل مرکزی، (۳) آب و هوای سرد شمالی در استان وجود دارد. استان لرستان دارای ۲۳ رودخانه دائمی می‌باشد. کشکان، سیمره، سزار و بختیاری مهمترین رودخانه‌های استان هستند. میانگین دمای و بارندگی ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی استان به ترتیب ۱۶/۸۱ درجه سانتیگراد و ۵۴۹ میلی‌متر می‌باشد (سالنامه آماری، ۱۴۰۰). مشخصات شهرستان‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه گردیده است.



شکل ۱- موقعیت شهرستان‌های مورد مطالعه در ایران.

Figure 1- The location of study area in Iran.

هدف ارزیابی و مقایسه شاخص‌های اقتصادی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات اصلی زراعی استان لرستان شامل برنج، سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای انجام شده است. این محصولات، محصولات منتخب و دارای اهمیت در مناطق مورد مطالعه هستند و انتخاب آنها با توجه به شرایط تولید، اهمیت اقتصادی و تفاوت در نیاز آبی آنها انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف ارزیابی شاخص‌های اقتصادی تولید محصولات برنج، سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای در شهرستان‌های درود، ازنا و کوهدشت استان لرستان در سال زراعی ۱۴۰۴ انجام شد. علت انتخاب این سه شهرستان و همچنین تنوع محصولات مختلف، تفاوت‌های اقلیمی و الگوی کشت غالب در این مناطق است. به گونه‌ای که محصولات برنج، ذرت علوفه‌ای و سیب‌زمینی به ترتیب نمایانگر محصولات زراعی برجسته شهرستان‌های درود، کوهدشت و ازنا می‌باشند. اطلاعات مورد نیاز از بهره‌برداران این محصولات از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری جمع‌آوری گردید. به منظور بررسی عملکرد اقتصادی محصولات مورد مطالعه، شاخص‌های مختلف اقتصادی محاسبه و تحلیل شدند. همچنین، برای ارزیابی کارایی تولید در ارتباط با مصرف آب، شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب و بهره‌وری اقتصادی آب نیز مورد محاسبه و مقایسه قرار گرفتند. نتایج حاصل مبنایی برای مقایسه وضعیت اقتصادی و کارایی استفاده از منابع آب در تولید محصولات مورد بررسی فراهم نمود.

جدول ۱- مشخصات شهرستان‌های مورد مطالعه.

Table 1- Specifications of the studied counties.

Specifications	County		
	Doroud	Kohdasht	Azna
Average annual rainfall (mm)	600	500	450
Average annual evaporation (mm)	1800	2500	2000
Population (est. 2022)	50000 People	100000 People	60000 People
Main agricultural product	Rice	Forage maize	Potato
Area under crop (hectares)	1000	5000	2000
Crop Yield (tons/hectare)	4	50	30
Average Annual Temperature (Centigrade)	15.2	17.5	14.8
Climate Classification (Köppen)	CSA	CSA	DSA
Dominant Irrigation Method	Flood Irrigation	Pressurized (Sprinkler/Drip)	Basin Irrigation
Average Pumping Efficiency	55%	75%	60%
Average Groundwater Depth	2.5	4	3
Dominant soil texture	Clay texture with poor drainage	Sandy clay texture	Clay loam texture

داده‌های مورد نیاز پژوهش تأیید شد. لازم به ذکر است پرسشنامه در سال ۱۴۰۴ طراحی شده و داده‌های هزینه مورد استفاده در این پژوهش نیز مربوط به سال ۱۴۰۴ است.

روش تحلیل اقتصادی

به‌منظور محاسبه شاخص‌های اقتصادی برای محصولات مورد نظر از روابط زیر استفاده شد:

$$GR=GVP-VCP \quad (۲)$$

$$GVP=CY*SP \quad (۳)$$

$$NR=GVP-TCP \quad (۴)$$

$$TCP=FCP+VCP \quad (۵)$$

$$BCR=\frac{GVP}{TCP} \quad (۶)$$

که در روابط فوق، CY^1 عملکرد محصول زراعی کیلوگرم بر هکتار، GR^2 در آمد ناخالص، GVP^3 ارزش ناخالص تولید، VCP^4 هزینه‌های متغیر تولید، SP^5 قیمت محصول، NR^6 در آمد خالص، TCP^7 کل هزینه‌های تولید، FCP^8 هزینه‌های ثابت تولید و BCR^9 نسبت سود به هزینه می باشد که واحد همگی ۱۰۰۰ ریال بر هکتار است (عزیزپناه و همکاران، ۱۳۹۹).

در این پژوهش، قیمت مورد استفاده در محاسبات براساس میانگین قیمت‌های گزارش‌شده توسط بهره‌برداران و همچنین قیمت‌های رسمی منتشرشده توسط مرکز آمار ایران تعیین شده است. بنابراین، قیمت مورد استفاده در محاسبات نمایانگر قیمت میانگین محصول در شرایط مورد مطالعه بوده و مبنای محاسبه شاخص‌های اقتصادی قرار گرفته است.

محاسبه شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب

به‌منظور محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب، ابتدا میزان آب مصرفی برای هر محصول به دست آمد. منظور از میزان آب مصرفی، مقدار متوسط آب مصرف‌شده برای تولید هر محصول در یک هکتار طی دوره کشت است. این مقدار بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از کشاورزان محاسبه و میانگین‌گیری

جامعه آماری و نمونه‌گیری

جامعه آماری شامل ۸۵۰ کشاورز فعال در تولید برنج (در شهرستان درود)، ذرت علوفه‌ای (در کوه‌دشت) و سیب‌زمینی (در ازنا) بود. برای تعیین حجم نمونه‌ای معرف از جامعه آماری فوق، از فرمول کوکران ویژه جوامع محدود استفاده شد. محاسبات با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد (۱/۹۶ = z)، خطای مجاز ۵ درصد (e = ۰/۰۵) و حداکثر واریانس (q = p = ۰/۰۵) انجام پذیرفت (Heidari Sultanabadi, 2022):

$$n = \frac{\frac{(z^2 \cdot p \cdot q)}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{(z^2 \cdot p \cdot q)}{d^2} - 1 \right)} \quad (۱)$$

براین‌اساس، تعداد ۲۶۴ پرسشنامه در میان کشاورزان جامعه مورد مطالعه توزیع شد و پس از تکمیل توسط پاسخگویان، مورد تحلیل آماری قرار گرفت.

پرسشنامه مورد استفاده در این پژوهش شامل سؤالاتی مربوط به مساحت زمین کشاورزی، عملکرد محصولات کشاورزی، هزینه‌های ثابت (شامل هزینه‌های مربوط به اجاره زمین یا استهلاک سیستم‌های آبیاری و غیره) و هزینه‌های متغیر (شامل هزینه‌هایی مربوط به کود، بذر، سمپاشی و محلول پاشی، نیروی کار انسانی، آب و برق و غیره) در تمامی مراحل کاشت، داشت و برداشت (نصیرپور و همکاران، ۱۴۰۲). به منظور بررسی روایی، پرسشنامه در اختیار چند نفر از اعضای هیئت علمی و متخصصان حوزه اقتصاد کشاورزی و کارشناسان اداره جهاد کشاورزی استان لرستان قرار گرفت و پس از اعمال اصلاحات پیشنهادی، نسخه نهایی تهیه شد. همچنین به منظور ارزیابی قابلیت اجرا و اطمینان از شفافیت سؤالات، پرسشنامه به صورت آزمایشی در میان ۳۰ نفر از کشاورزان خارج از جامعه آماری پژوهش توزیع گردید و نتایج اجرای آزمایشی نشان داد که سؤالات از وضوح و قابلیت درک مناسبی برخوردار بوده و پاسخ‌های حاصل از نظر دامنه و الگوی مقادیر با داده‌های جامعه هدف سازگاری قابل قبولی داشت. بر این اساس، روایی و قابلیت کاربرد پرسشنامه برای جمع‌آوری

⁶ Net Revenue

⁷ Total Costs Production

⁸ Fixed Costs Production

⁹ Profit to Cost Ratio

¹ Crop Yield

² Gross Revenue

³ Gross Value of Production

⁴ Variable Costs Production

⁵ Stature Product

در رابطه ۸، سود خالص بر حسب ۱۰۰۰ ریال و مقدار آب مصرفی بر حسب متر مکعب در نظر گرفته شده است.

استانداردسازی داده‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب

پس از محاسبه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب برای محصولات مختلف، به منظور ارزیابی و مقایسه وضعیت آن‌ها، لازم است اختلاف مقیاس میان مقادیر برطرف شود. برای این منظور، از روش استانداردسازی Z-Score بهره گرفته شده است. رابطه این شاخص در رابطه ۹ ارائه شده است:

$$Z = \frac{X - \mu}{\frac{\alpha X}{\sqrt{n}}} \quad (9)$$

(فرح‌زا و همکاران، ۱۳۹۹)

در این رابطه: Z مقدار استاندارد، X معرف مقدار اولیه که باید استاندارد شود، μ میانگین و $\frac{\alpha X}{\sqrt{n}}$ انحراف معیار جامعه آماری است (همان منبع).

برای محاسبه شاخص‌ها و ترسیم جداول از نرم افزار Microsoft Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

محاسبه و تحلیل شاخص‌های اقتصادی

شد. سپس میزان عملکرد هر محصول نیز با استفاده از داده‌های کشاورزان و سپس میانگین‌گیری به‌دست آمد.

پس از آن با استفاده از روابط زیر و نیز داده‌های به‌دست آمده، شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محاسبه شد.

عملکرد به‌ازای واحد حجم آب (CPD): CPD^1 یکی از شاخص‌های معتبر برای سنجش بهره‌وری آب است که رابطه آن به‌شرح زیر است (حبیبی و همکاران، ۱۴۰۲)

$$CPD = \frac{\text{مقدار محصول تولید شده}}{\text{مقدار مصرفی آب}} \quad (7)$$

در رابطه ۷ مقدار محصول تولید شده بر حسب کیلوگرم و مقدار آب مصرفی بر حسب متر مکعب محاسبه شده است.

سود خالص به ازای هر واحد حجم مصرفی آب (NBPD): شاخص $NBPD^2$ یکی از شاخص‌های مطرح برای محاسبه بهره‌وری اقتصادی آب است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (همان منبع):

$$NBPD = \frac{\text{سود خالص}}{\text{مقدار مصرفی آب}} \quad (8)$$

جدول ۲- مقادیر محاسبه شده شاخص‌های اقتصادی برای محصولات برنج، ذرت علوفه‌ای و سیب‌زمینی

Table 2- Calculated economic indicators for rice, forage maize, and potato production systems

Indicator Name	Crop Name		
	Rice	Forage maize	Potato
GR	3672775.19	327186.27	2797877.35
GVP	5527142.85	1276862.74	5397877.35
NR	3495525.19	239313.72	2649188.67
TCP	2031617.66	1037549.02	2748688.67
BCR	2.72	1.23	1.96
VCP	1854367.66	949676.471	2600000
FCP	177250	87872.549	148688.67

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص مربوط به برنج با مقدار عددی ۵۵۲۷۱۴۲/۸۵ هزار ریال در هکتار بود. سیب‌زمینی با ۵۳۹۷۸۷۷/۳۵ هزار ریال در هکتار در رتبه دوم قرار گرفت و اختلاف اندکی با برنج داشت. کمترین مقدار ارزش ناخالص تولید نیز مربوط به ذرت علوفه‌ای با ۱۲۷۶۸۶۲/۷۴ هزار ریال در هکتار بود. بالا بودن مقدار این شاخص در برنج و سیب‌زمینی نشان‌دهنده ارزش اقتصادی بالاتر این محصولات در مقایسه با ذرت علوفه‌ای است (جدول ۲).

(۳) شاخص درآمد خالص (NR):

(۱) شاخص درآمد ناخالص (GR):

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار درآمد ناخالص مربوط به برنج با ۳۶۷۲۷۷۵/۱۹ هزار ریال در هکتار بود. سیب‌زمینی با ۲۷۹۷۸۷۷/۳۵ هزار ریال در هکتار در رتبه دوم قرار گرفت و ذرت علوفه‌ای با ۳۲۷۱۸۶/۲۷ هزار ریال در هکتار کمترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص داد. مقدار بالاتر درآمد ناخالص در برنج بیانگر توانایی بیشتر این محصول در ایجاد درآمد و پوشش هزینه‌های متغیر تولید است (جدول ۲).

(۲) شاخص ارزش ناخالص تولید (GVP):

² Net Benefit Per unit of Water Consumed

¹ Crop Physical Productivity

و توانایی بالاتر این محصول در ایجاد درآمد به ازای هر واحد هزینه تولید است (جدول ۲).

۶) شاخص هزینه‌های متغیر تولید (VCP):

نتایج نشان داد که بیشترین هزینه متغیر تولید مربوط به سیب‌زمینی با ۲۶۰۰۰۰۰ هزار ریال در هکتار بود. پس از آن برنج با ۱۸۵۴۳۶۷/۶۶ هزار ریال در هکتار قرار گرفت. کمترین مقدار این شاخص نیز به ذرت علوفه‌ای با ۹۴۹۶۷۶/۴۷ هزار ریال در هکتار اختصاص داشت. بالا بودن هزینه‌های متغیر در سیب‌زمینی را می‌توان به نیاز بیشتر این محصول به نهاده‌هایی نظیر بذر، کود و سموم و همچنین عملیات متعدد کاشت، داشت و برداشت نسبت داد (زاهدی و همکاران، ۱۳۹۴). در مقابل، ذرت علوفه‌ای به دلیل نیاز کمتر به برخی نهاده‌های پرهزینه، کمترین میزان هزینه متغیر را به خود اختصاص داد (جدول ۲).

۷) شاخص هزینه‌های ثابت تولید (FCP):

نتایج نشان داد که بیشترین هزینه ثابت تولید مربوط به برنج با ۱۷۷۲۵۰ هزار ریال در هکتار بود. پس از آن سیب‌زمینی با ۱۴۸۶۸۸/۶۷ هزار ریال در هکتار قرار گرفت و کمترین مقدار این شاخص متعلق به ذرت علوفه‌ای با ۸۷۸۷۲/۵۴ هزار ریال در هکتار بود. تفاوت مشاهده‌شده در هزینه‌های ثابت را می‌توان ناشی از اختلاف در میزان استفاده از ماشین‌آلات، تجهیزات و سایر سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز برای تولید محصولات مختلف دانست. همچنین بعضی از کشاورزان به دلیل اینکه زمین کشاورزی متعلق به خودشان است، هزینه‌ای بابت اجاره‌بها نمی‌دهند (جدول ۲).

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار درآمد خالص مربوط به برنج با ۳۴۹۵۵۲۵/۱۹ هزار ریال در هکتار بود. پس از آن سیب‌زمینی با ۲۶۴۹۱۸۸/۶۷ هزار ریال در هکتار قرار گرفت. کمترین مقدار درآمد خالص نیز به ذرت علوفه‌ای با ۲۳۹۳۱۳/۷۲ هزار ریال در هکتار اختصاص یافت. نتایج این شاخص نشان می‌دهد که برنج نسبت به سایر محصولات مورد مطالعه سودآوری بیشتری داشته و توانسته است بیشترین بازده اقتصادی را در بین محصولات مورد مطالعه برای بهره‌برداران فراهم کند (جدول ۲).

۴) شاخص کل هزینه‌های تولید (TCP):

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار هزینه کل تولید مربوط به سیب‌زمینی با ۲۷۴۸۶۸۸/۶۷ هزار ریال در هکتار بود. برنج با ۲۰۳۱۶۱۷/۶۶ هزار ریال در هکتار در رتبه دوم قرار گرفت و کمترین مقدار این شاخص به ذرت علوفه‌ای با ۱۰۳۷۵۴۹/۰۲ هزار ریال در هکتار اختصاص داشت. بالا بودن هزینه تولید در سیب‌زمینی نشان‌دهنده نیاز بیشتر این محصول به نهاده‌ها در طول دوره رشد است (جدول ۲).

۵) شاخص نسبت سود به هزینه (BCR):

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص مربوط به برنج با ۲/۷۲ بود. پس از آن سیب‌زمینی با ۱/۹۶ در رتبه دوم قرار گرفت و ذرت علوفه‌ای با ۱/۲۳ کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. بزرگ‌تر بودن مقدار BCR از یک در هر سه محصول نشان می‌دهد که تولید تمامی محصولات مورد مطالعه از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر و سودآور بوده است. با این حال، مقدار بالاتر این شاخص در برنج بیانگر کارایی اقتصادی بیشتر

جدول ۳- هزینه های تولیدی در نظام های زراعی محصولات برنج، سیبزمینی و ذرت علوفه‌ای.

Table 3- Production Costs in Rice, Potato, and Forage Maize Cropping Systems.

Costs	Unit	Crop Name		
Variable Costs		Rice	Forage maize	Potato
Fuel	10 ³ Rial ha ⁻¹	284560	211006	560390
Machinery	10 ³ Rial ha ⁻¹	300000	165000.47	575000
Water and Power	10 ³ Rial ha ⁻¹	525000	159000	519000
Insecticides	10 ³ Rial ha ⁻¹	125000.66	63000	150000
Seed	10 ³ Rial ha ⁻¹	195800	100000	325610
Fertilizes	10 ³ Rial ha ⁻¹	165500	141670	260000
Labor	10 ³ Rial ha ⁻¹	258507	110000.001	210000
Variable Costs	10 ³ Rial ha ⁻¹	1854367.66	949676.471	2600000
Fixed Costs	10 ³ Rial ha ⁻¹	177250	87872.549	148688.67
Total Costs	10 ³ Rial ha ⁻¹	2031617.66	1037549.02	2748688.67

حاصل از فروش محصول نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت اقتصادی نظام تولید دارد. این نتیجه با یافته‌های محمدزاده و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد که گزارش کردند ذرت علوفه‌ای علی‌رغم هزینه تولید پایین‌تر، از نظر ارزش ناخالص تولید و سود خالص در سطح پایین‌تری نسبت به یونجه قرار گرفته است.

شاخص نسبت سود به هزینه نیز برتری اقتصادی برنج را تأیید کرد. این شاخص نشان داد که به ازای هر واحد هزینه صرف شده، در تولید برنج ۲/۷۲ واحد درآمد، در سیبزمینی ۱/۹۶ واحد درآمد و در ذرت علوفه‌ای تنها ۱/۲۳ واحد درآمد حاصل شده است. برنج سودآورترین و ذرت علوفه‌ای کم‌بازده‌ترین محصول از نظر اقتصادی در بین محصولات مورد مطالعه بود (جدول ۳).

بررسی ساختار هزینه‌ها نشان داد که در برنج بیشترین سهم هزینه‌های متغیر مربوط به آب و برق (۵۲۵۰۰۰ هزار ریال در هکتار)، ماشین‌آلات (۳۸۰۰۰۰ هزار ریال در هکتار) و نیروی انسانی (۲۵۸۵۰۷ هزار ریال در هکتار) بوده است (جدول ۳). این یافته با نتایج امیدی نوییجار و همکاران (۱۴۰۴) همخوانی دارد که نیروی کارگری، بذر و ماشین‌آلات را از مهم‌ترین اجزای هزینه تولید برنج معرفی کردند. در سیبزمینی نیز بیشترین هزینه‌ها به ماشین‌آلات (۵۷۵۰۰۰ هزار ریال در هکتار)، سوخت (۵۶۰۳۹۰ هزار ریال در هکتار) و آب و برق (۵۱۹۰۰۰ هزار ریال در هکتار) اختصاص داشت که نشان‌دهنده سرمایه‌بر بودن تولید این محصول است. همچنین نتایج الفی و همکاران (۱۳۹۳) نیز بر نقش تعیین‌کننده

مقایسه شاخص‌های اقتصادی نشان داد که برنج با ارزش ناخالص تولید ۵۵۲۷۱۴۲/۸۵ هزار ریال در هکتار بالاترین مقدار را در بین محصولات مورد مطالعه به خود اختصاص داد و پس از آن سیبزمینی با ۵۳۹۷۸۷۷/۳۵ هزار ریال در هکتار قرار گرفت. اختلاف اندک بین ارزش ناخالص تولید این دو محصول نشان می‌دهد که هر دو محصول از ظرفیت درآمدزایی بالایی برخوردار هستند. با این حال، درآمد خالص برنج (۳۴۹۵۵۲۵/۱۹) هزار ریال در هکتار بیشتر از سیبزمینی (۲۶۴۹۱۸۸/۶۷) هزار ریال در هکتار بود که بیانگر کارایی اقتصادی بیشتر تولید برنج در شرایط منطقه مورد مطالعه است (جدول ۳).

بررسی هزینه‌های تولید نشان داد که سیبزمینی با ۲۷۴۸۶۸۸/۶۷ هزار ریال در هکتار دارای بیشترین هزینه کل تولید بوده است، در حالی که هزینه کل تولید برنج ۲۰۳۱۶۱۷/۶۶ هزار ریال در هکتار برآورد شد. بنابراین، اگرچه ارزش ناخالص تولید این دو محصول تقریباً در یک سطح قرار دارد، اما هزینه تولید سیبزمینی حدود ۳۵ درصد بیشتر از برنج است که موجب کاهش درآمد خالص آن شده است. بخش عمده این اختلاف به هزینه‌های بالاتر بذر، ماشین‌آلات، آب و برق و کود در تولید سیبزمینی مربوط می‌شود (جدول ۳).

در مقابل، ذرت علوفه‌ای با وجود کمترین هزینه کل تولید (۱۰۳۷۵۴۹/۰۲) هزار ریال در هکتار، کمترین درآمد خالص (۳۲۷۱۸۶/۲۷) هزار ریال در هکتار و کمترین ارزش ناخالص تولید (۱۲۷۶۸۶۲/۷۴) هزار ریال در هکتار را دارا بود (جدول ۳). این موضوع نشان می‌دهد که کاهش هزینه تولید لزوماً منجر به افزایش سودآوری نمی‌شود و میزان درآمد

علوفه‌ای بوده است. این اختلاف عمدتاً ناشی از عملکرد بالاتر سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای در واحد سطح و همچنین مصرف آب کمتر آن‌ها نسبت به برنج است.

شاخص NBPd یا بهره‌وری اقتصادی خالص آب نیز روند مشابهی را نشان داد. بیشترین مقدار این شاخص مربوط به سیب‌زمینی با ۴۰۳/۲۲ هزار ریال بر مترمکعب آب بود که بیانگر توان بالای این محصول در ایجاد درآمد خالص از هر واحد آب مصرفی است. پس از آن برنج با ۳۳۲/۹۰ هزار ریال بر مترمکعب در رتبه دوم قرار گرفت و ذرت علوفه‌ای با ۳۸/۵۹ هزار ریال بر مترمکعب کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. بدین ترتیب بهره‌وری اقتصادی خالص آب در سیب‌زمینی بیش از ۱۰ برابر ذرت علوفه‌ای بوده است که نشان‌دهنده ارزش اقتصادی بالاتر تولید این محصول در مقایسه با آب مصرفی است (جدول ۴).

به‌طور کلی نتایج نشان داد که سیب‌زمینی از نظر هر دو شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در وضعیت مطلوب‌تری قرار دارد. این محصول ضمن برخورداری از عملکرد بالا، توانسته است درآمد خالص بیشتری را نیز به ازای هر واحد آب مصرفی ایجاد کند. در مقابل، برنج علی‌رغم برخورداری از درآمد اقتصادی مناسب، به دلیل نیاز آبی زیاد دارای کمترین بهره‌وری فیزیکی آب بود. همچنین ذرت علوفه‌ای اگرچه از نظر بهره‌وری فیزیکی آب عملکرد مطلوبی داشت، اما به دلیل ارزش اقتصادی پایین‌تر محصول، کمترین بهره‌وری اقتصادی آب را نشان داد.

استانداردسازی مقادیر بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب با استفاده از روش Z-Score

به‌منظور مقایسه نسبی عملکرد محصولات از نظر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، مقادیر شاخص‌های CPD و NBPd به روش Z-Score استانداردسازی شدند. استفاده از Z-Score این امکان را فراهم می‌کند که فاصله هر محصول از میانگین جامعه مورد مطالعه مشخص شده و عملکرد محصولات مستقل از واحد اندازه‌گیری شاخص‌ها مورد مقایسه قرار گیرد. در این روش، مقادیر مثبت نشان‌دهنده عملکرد بالاتر از میانگین و مقادیر منفی بیانگر عملکرد پایین‌تر از میانگین هستند (رابطه ۹).

نهاده‌هایی نظیر بذر، نیروی کار و ماشین‌آلات در ساختار هزینه تولید سیب‌زمینی تأکید دارد.

در مجموع، نتایج نشان داد که برنج با وجود هزینه تولید نسبتاً بالا، به دلیل ارزش ناخالص تولید بیشتر و نسبت سود به هزینه بالاتر، اقتصادی‌ترین محصول در منطقه مورد مطالعه است. سیب‌زمینی نیز با وجود هزینه‌های تولید سنگین، از سودآوری مناسبی برخوردار بود، در حالی که ذرت علوفه‌ای علی‌رغم نیاز کمتر به سرمایه‌گذاری اولیه، کمترین بازده اقتصادی را در بین محصولات مورد بررسی نشان داد.

محاسبه شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در تولید محصولات منتخب

در این مرحله با استفاده از داده‌های میزان آب مصرفی در هر هکتار همچنین میزان عملکرد محصول در هر هکتار و با استفاده از روابط ریاضی ۷ و ۸ که پیشتر در قسمت مواد و روش به آنها اشاره شد، مقادیر CPD و NBPd برای هر محصول به صورت جداگانه محاسبه و در جدول ۴ ارائه گردید.

جدول ۴- مقادیر محاسبه‌شده برای شاخص‌های CPD و NBPd

Table 4- Calculated Values of CPD and NBPd Indices.

Crop Name	Crop Yield (kg ha ⁻¹)	Water Consumption (m ³ ha ⁻¹)	NBPd	CPD
Rice	2085.714	10500	332.90	0.19
Forage maize	31921.57	6200	38.59	5.14
Potato	35985.85	6570	403.22	5.47

نتایج جدول ۴ نشان داد که بین محصولات مورد بررسی از نظر شاخص‌های بهره‌وری آب تفاوت قابل توجهی وجود دارد. شاخص CPD یا بهره‌وری فیزیکی آب بیانگر مقدار محصول تولید شده به ازای هر مترمکعب آب مصرفی است. در این مطالعه، سیب‌زمینی با مقدار ۵/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب را به خود اختصاص داد. پس از آن ذرت علوفه‌ای با ۵/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب در رتبه دوم قرار گرفت، در حالی که برنج با مقدار ۰/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب کمترین بهره‌وری فیزیکی آب را نشان داد. مقایسه مقادیر نشان می‌دهد بهره‌وری فیزیکی آب در سیب‌زمینی حدود ۲۸ برابر بیشتر از برنج و حدود ۶ درصد بیشتر از ذرت

مطلوب بود که نشان می‌دهد ارزش اقتصادی بالاتر محصول تا حدودی ضعف بهره‌وری فیزیکی آن را جبران کرده است. همچنین ذرت علوفه‌ای اگرچه از نظر بهره‌وری فیزیکی آب عملکرد مناسبی داشت، اما از لحاظ بهره‌وری اقتصادی آب در سطح پایین‌تری قرار گرفت که این نتیجه با نتایج Fan et al. (2014) که برخی از محصولاتی که بهره‌وری فیزیکی بیشتری

دارند بهره‌وری اقتصادی کمتری دارند، همسو است. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج اخوان گیگلو و همکاران (۱۴۰۱) همخوانی دارد. آنان نیز گزارش کردند که برنج کمترین بهره‌وری فیزیکی آب را در میان محصولات مورد بررسی داشته، در حالی که ذرت علوفه‌ای از نظر شاخص CPD در وضعیت مطلوب‌تری قرار گرفته است. همچنین نتایج آمینی و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که سیب‌زمینی از جمله محصولاتی است که از نظر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در جایگاه مناسبی قرار دارد. در مجموع، نتایج استانداردسازی شاخص‌ها نشان داد که سیب‌زمینی از دیدگاه مدیریت منابع آب و بازده اقتصادی حاصل از مصرف آب، مناسب‌ترین محصول در بین محصولات مورد مطالعه بوده و می‌تواند به عنوان گزینه‌ای کارآمد در برنامه‌ریزی الگوی کشت مناطق دارای محدودیت منابع آبی مورد توجه قرار گیرد.

Vazifeh-Duost et al. (2008) بهره‌وری فیزیکی آب ذرت علوفه‌ای را در اصفهان ۴/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند که به مقدار به‌دست آمده در این پژوهش (۵/۱۴) کیلوگرم بر مترمکعب) نزدیک است. این موضوع نشان می‌دهد ذرت علوفه‌ای به طور معمول از نظر تولید ماده خشک در واحد آب مصرفی در زمره محصولات با بهره‌وری فیزیکی بالا قرار می‌گیرد.

از سوی دیگر، یافته‌های پژوهش حاضر در مورد پایین بودن بهره‌وری فیزیکی آب برنج با Zwart et al. (2004) نیز مطابقت دارد. این پژوهشگران میانگین جهانی بهره‌وری فیزیکی آب برنج را حدود ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. مقدار به‌دست آمده در مطالعه حاضر کمتر از مقدار جهانی است، که همچنان نشان‌دهنده ماهیت آب‌بر بودن این محصول و پایین بودن کارایی مصرف آب در مقایسه با بسیاری از محصولات زراعی دیگر در استان لرستان است. در مقابل، اگرچه ذرت

جدول ۵- مقادیر استاندارد شده (Z) استاندارد) بهره‌وری

اقتصادی و فیزیکی آب در محصولات مورد مطالعه.

Table 5- Standardized Values of Economic and Physical Water Productivity Indices for the Studied Crops.

Crop Name	Z (NBPD)	Z (CPD)
Rice	0.385	-1.153
Forage maize	-1.135	0.521
Potato	0.749	0.632

نتایج جدول ۵ نشان داد که در شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (CPD)، سیب‌زمینی با Z-Score برابر ۰/۶۳۲ بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده و در جایگاه نخست قرار گرفت. پس از آن ذرت علوفه‌ای با مقدار ۰/۵۲۱ در رتبه دوم قرار داشت. در مقابل، برنج با مقدار ۱/۱۵۳- تنها محصولی بود که مقدار Z-Score منفی را نشان داد و فاصله قابل توجهی با میانگین داشت. این نتایج بیانگر آن است که سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای از نظر تولید محصول به ازای واحد آب مصرفی عملکردی بالاتر از میانگین داشته‌اند، در حالی که برنج به دلیل نیاز آبی زیاد و تولید کمتر به ازای هر مترمکعب آب، از میانگین کل محصولات پایین‌تر قرار گرفته است.

در شاخص بهره‌وری اقتصادی آب (NBPD) نیز سیب‌زمینی با مقدار Z-Score برابر ۰/۷۴۹ بالاترین عملکرد را نشان داد و بیشترین فاصله مثبت را از میانگین داشت. برنج با مقدار ۰/۳۸۵ در رتبه دوم قرار گرفت و اگرچه عملکرد آن از میانگین بالاتر بود، اما فاصله آن با سیب‌زمینی کمتر بود. در مقابل، ذرت علوفه‌ای با مقدار ۱/۱۳۵- کمترین مقدار Z-Score را به خود اختصاص داد که نشان‌دهنده عملکرد اقتصادی پایین‌تر از میانگین در استفاده از آب است. این نتیجه نشان می‌دهد که اگرچه ذرت علوفه‌ای از نظر تولید فیزیکی محصول به ازای واحد آب در وضعیت مطلوبی قرار دارد، اما ارزش اقتصادی حاصل از هر مترمکعب آب مصرفی در آن کمتر از دو محصول دیگر است (جدول ۵).

مقایسه همزمان دو شاخص نشان داد که سیب‌زمینی تنها محصولی است که در هر دو شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب دارای مقادیر مثبت و بالاتر از میانگین بوده است. این موضوع بیانگر برتری نسبی این محصول در تبدیل آب مصرفی به محصول و درآمد اقتصادی است. در مقابل، برنج دارای بهره‌وری فیزیکی پایین اما بهره‌وری اقتصادی نسبتاً

مقایسه با سایر محصولات مورد مطالعه، نشان داد. اگرچه برنج بیشترین میزان مصرف آب را با ۱۰۵۰۰ مترمکعب در هکتار داشت، اما همچنان از نظر شاخص بهره‌وری اقتصادی آب (NBPD) در وضعیت مطلوبی قرار گرفت. در مقابل، بهره‌وری فیزیکی آب (CPD) در برنج کمترین مقدار را (۰/۱۹) در بین محصولات مورد مطالعه نشان داد که بیانگر تولید مقدار کمتر محصول به ازای هر واحد آب مصرفی است. سبب‌زمینی پس از برنج، عملکرد اقتصادی مناسبی را از خود نشان داد. این محصول با وجود برخورداری از بیشترین هزینه کل تولید (TCP) معادل ۲۷۴۸۶۸۸/۶۷ هزار ریال در هکتار و بیشترین هزینه متغیر (VCP) برابر ۲۶۰۰۰۰۰ هزار ریال در هکتار، توانست درآمد خالصی معادل ۲۶۴۹۱۸۸/۶۷ هزار ریال در هکتار ایجاد کند. همچنین نسبت سود به هزینه ۱/۹۶ نشان داد که تولید سبب‌زمینی از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. از سوی دیگر، این محصول با مقدار CPD برابر ۵/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب و NBPD برابر ۴۰۳/۲۲ هزار ریال بر مترمکعب، بالاترین کارایی را در مصرف آب بین محصولات مورد مطالعه به خود اختصاص داد. ذرت علوفه‌ای کمترین مقادیر اکثر شاخص‌های اقتصادی را به خود اختصاص داد. ارزش ناخالص تولید این محصول برابر ۱۲۷۶۸۶۲/۷۴ هزار ریال در هکتار، درآمد ناخالص ۳۲۷۱۸۶/۲۷ هزار ریال در هکتار و درآمد خالص ۲۳۹۳۱۳/۷۲ هزار ریال در هکتار بود. همچنین نسبت سود به هزینه آن برابر ۱/۲۳ محاسبه شد که کمترین مقدار در بین محصولات مورد بررسی است. با این حال، ذرت علوفه‌ای از نظر بهره‌وری فیزیکی آب عملکرد مطلوبی داشت و مقدار CPD آن برابر ۵/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد که تنها اندکی کمتر از سبب‌زمینی بود. این موضوع نشان می‌دهد که اگرچه ذرت علوفه‌ای از نظر اقتصادی نسبت به دو محصول دیگر ضعیف‌تر عمل کرده است، اما از دیدگاه تولید محصول به ازای واحد آب مصرفی، کارایی مناسبی دارد. در مجموع، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که برنج از نظر سودآوری اقتصادی در رتبه نخست قرار دارد، در حالی که سبب‌زمینی از نظر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب عملکرد برتری را نشان می‌دهد. ذرت علوفه‌ای نیز اگرچه کمترین بازده اقتصادی را داشت، اما از نظر بهره‌وری فیزیکی آب در وضعیت قابل قبولی قرار گرفت. بنابراین انتخاب الگوی کشت مناسب

علوفه‌ای از نظر بهره‌وری فیزیکی در وضعیت مناسبی قرار داشت، اما به دلیل قیمت فروش پایین‌تر محصول، بهره‌وری اقتصادی آب آن کمتر بود. این نتایج با یافته‌های فرح‌زا و همکاران (۱۳۹۹) نیز مطابقت دارد که گزارش کردند ذرت علوفه‌ای علی‌رغم بهره‌وری فیزیکی بالا، از نظر بهره‌وری اقتصادی در سطح پایین‌تری قرار می‌گیرد. آنان مقدار بهره‌وری فیزیکی را برای ذرت علوفه‌ای ۴/۵ اعلام کردند لازم به ذکر است علت تفاوت مقادیر در پژوهش‌های مختلف می‌تواند دلایل مختلفی همچون عملکرد محصول متفاوت، نوع آبیاری متفاوت، اقلیم متفاوت و غیره داشته باشد همانطور که اشراقی و قاسمیان (۱۳۹۹)، در پژوهشی در استان گلستان در یک منطقه جغرافیایی مقادیر متفاوتی برای بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب به دست آوردند.

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سبب‌زمینی از منظر مدیریت اقتصادی منابع آب گزینه مطلوب‌تری نسبت به برنج و ذرت علوفه‌ای است. همچنین اختلاف رتبه محصولات در شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری درباره الگوی کشت نباید صرفاً بر پایه عملکرد محصول یا صرفاً براساس ارزش اقتصادی انجام گیرد، بلکه ارزیابی همزمان شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی آب می‌تواند مبنای دقیق‌تری برای مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی فراهم آورد.

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی شاخص‌های اقتصادی و بهره‌وری آب نشان داد که بین محصولات مورد مطالعه از نظر سودآوری، ساختار هزینه و کارایی مصرف آب تفاوت قابل توجهی وجود دارد. محصول برنج با ارزش ناخالص تولید (GVP) معادل ۵۵۲۷۱۴۲/۸۵ هزار ریال در هکتار، درآمد ناخالص (GR) برابر ۳۶۷۲۷۷۵/۱۹ هزار ریال در هکتار و درآمد خالص (NR) معادل ۳۴۹۵۵۲۵/۱۹ هزار ریال در هکتار، بالاترین بازده اقتصادی را در میان محصولات مورد بررسی به خود اختصاص داد. این برتری اقتصادی در محصول برنج در شاخص‌های GR، NR، GVP و همچنین نسبت سود به هزینه (BCR) که در این محصول برابر با ۲/۷۲ بود مشهود است. برنج در تمامی شاخص‌های مذکور، عملکرد اقتصادی مطلوب‌تری را در

زارعی قورخودی، ع.، شاهنظری، ع.، و داداشی پرشان، ۱۴۰۱. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در تولید محصولات زراعی و باغی در غرب و مرکز استان مازندران و رتبه‌بندی دشت‌های مطالعاتی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶(۳): ۶۵۷-۶۶۹.

زاهدی، م.، عشقی‌زاده، ح.ر.، و مندنی، ف.، ۱۳۹۴. کارایی انرژی و بهره‌وری در نظام‌های تولید سیب‌زمینی و چغندر قند استان اصفهان. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۷(۱): ۱۸۱-۱۹۱.

زمانی، ع.، مرتضوی، س.ا.، و بلالی، ح.، ۱۳۹۳. بررسی بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات مختلف زراعی در دشت بهار. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۸(۱): ۵۱-۶۲.

سلطانی، غ.، اکبری، م.، و محمدی، ح.، ۱۳۸۸. بررسی بهره‌وری آب در مناطق خشک مطالعه موردی در مرودشت. ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی، مشهد، ایران. سلیمانی، ح.، و حسن‌لی، ع.، ۱۳۸۷. محاسبه قیمت تمام شده، بهره‌وری مصرف و ارزش افزوده آب برای محصولات عمده در منطقه خشک داراب. دانش کشاورزی ایران، ۱۵(۱): ۴۵-۶۰.

عزیزپناه، ع.، یوسفی‌نژاد، ش.، و فتحی، ر.، ۱۳۹۹. ارزیابی شاخص‌های اقتصادی، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید هندوانه: مطالعه موردی استان ایلام. نشریه تولید گیاهان زراعی، ۱۳(۲): ۳۷۵-۳۹۰.

فرح‌زا، م.ن.، نظری، ب.، اکبری، م.ر.، نائینی، م.س.، و لیاقت، ع.، ۱۳۹۹. ارزیابی بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی محصولات زراعی در دشت مغان و تحلیل رابطه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۱(۲): ۱۶۶-۱۷۹.

الفی، خ.، دشتی، ق.، و خرمی، ش.، ۱۳۹۳. تحلیل روابط بین نهاده‌ها و صرفه اقتصادی در تولید سیب‌زمینی استان اردبیل. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۲(۴.۱): ۲۱۳-۲۲۴. محمدپور، م.، زینال‌زاده، ک.، رضوردی‌نژاد، و.، و حصاری، ب.، ۱۳۹۹. بررسی نوسانات آب زیرزمینی تحت تأثیر تغییر اقلیم و بهبود روش آبیاری (مطالعه موردی: دشت اهر). هیدروژئولوژی، ۵(۲): ۹۹-۱۱۲.

محمدزاده، آ.، مهدوی دامغانی، ع.، وفابخش، ج.، و دیهیم‌فرد، ر.، ۱۳۹۷. کارایی بوم‌شناختی- اقتصادی تولید یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays*)

در منطقه مورد مطالعه باید علاوه بر شاخص‌های اقتصادی، با در نظر گرفتن محدودیت منابع آب و شاخص‌های بهره‌وری آب انجام گیرد تا ضمن حفظ سودآوری کشاورزان، استفاده پایدار از منابع آبی نیز تضمین شود.

منابع

اخوان گیلگو، ک.، خیری، م.، احمدپری، ه.، عباسی، س.، و کلاته، ف.، ۱۴۰۱. بررسی محتوای آب مجازی و شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات زراعی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت مغان، استان اردبیل). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۳): ۲۷۷-۲۹۵.

اشراقی، ف.، و قاسمیان، س.د.، ۱۳۹۱. بررسی بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در استان گلستان. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۶(۳): ۳۱۷-۳۲۲.

امیدی نوبیجار، م.، بارانی، ح.، رحیم فروزه، م.، و عابدی سروستانی، ا.، ۱۴۰۴. ارزیابی الگوی مصرف انرژی و تأثیر دانش بومی در نظام کشت برنج استان گیلان. مجله تولید گیاهان زراعی، ۱۸(۴): ۵۰-۷۰.

امینی، ع.، پرهمت، ج.، و سدری، م.ح.، ۱۳۹۹. بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات عمده زراعی در حوضه تلوار استان کردستان. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲(۲): ۴۹۱-۴۸۱.

توکلی، ع.، حکم‌آبادی، ح.، نادری عارفی، ع.، و حجی، ع.، ۱۴۰۰. بررسی مزیت نسبی محصولات کشاورزی استان سمنان با محوریت بهره‌وری آب. علوم آب و خاک، ۲۵(۴): ۶۳-۸۱. جوزی، م.، ابراهیمی پاک، ن.ع.، و تافته، آ.، ۱۴۰۲. برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با روش‌های هارگریوز سامانی و هارگریوز سامانی اصلاح‌شده و ارزیابی آن‌ها با استفاده از سامانه نیاز آبی گیاهان در استان کرمانشاه. هیدروژئولوژی، ۸(۱): ۱-۱۶.

حبیبی، س.، خوش‌روش، م.، و نوری خواجه بلاغ، ر.، ۱۴۰۲. تحلیل شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی محصولات یونجه و جو در دو اقلیم متفاوت. آب و خاک، ۳۸(۱): ۲۳-۳۶.

دلبری، م.، امینی رکان، ا.، و صادقی مرشت، م.، ۱۳۹۵. پیش‌بینی الگوی پراکنش مکانی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی استان گلستان برای مصارف کشاورزی با استفاده از زمین‌آمار و GIS. هیدروژئولوژی، ۱۱(۱): ۱۰۷-۱۲۳.

Northwest China. *Agricultural Water Management*, 146: 335-345.

Farahza, M.N., Nazari, B., Akbari, M.R., Naeini, M.S., & Liaghat, A., 2020. Evaluation of physical and economic water productivity of crop products in Moghan Plain and analysis of the relationship between physical and economic water productivity. *Iranian Irrigation and Water Engineering Research Journal*, 11(2): 166-179. [In Persian]

Ghadami Firouzabadi, A., & Seyedan, S.M., 2019. Evaluation of irrigation water productivity and economic analysis of alfalfa production in sprinkler and surface irrigation systems. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 10(1): 135-148. [In Persian]

Habibi, S., Khoshravesh, M., & Nouri Khajeh Bolagh, R., 2023. Analysis of physical water and energy productivity indicators of alfalfa and barley crops in two different climates. *Water and Soil*, 38(1): 23-36. [In Persian]

Heidari Sultanabadi, M., 2022. Determination of energy production function in irrigated wheat of Isfahan province. *Energy Engineering and Management*, 11(1): 116-127. [In Persian]

Joozi, M., Ebrahimi Pak, N.A., & Tafteh, A., 2023. Estimation of reference crop evapotranspiration using Hargreaves-Samani and modified Hargreaves-Samani methods and their evaluation using the plant water requirement system in Kermanshah Province. *Hydrogeology*, 8(1): 1-16. [In Persian]

Karimi, M., & Jolaini, M., 2017. Evaluation of agricultural water productivity indices in major field crops in Mashhad Plain (Technical Note). *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1): 133-138.

Mohammadpour Hangarvani, M., & Arsalanbod, M., 2014. Investigating the economic efficiency of water and its more effective factors in major agricultural products; a case study of Urmia city. *International Conference on Sustainable Development with a Focus on Agriculture, Environment and Tourism*, Tabriz, Iran. [In Persian]

Mohammadzadeh, A., Mahdavi Damghani, A., Vafabakhsh, J. & Deihimfard, R., 2018. Ecological-Economic Efficiency for Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and Corn Silage (*Zea mays* L.) Production Systems: Maragheh- Bonab Plain, East Azerbaijan Province, *Journal of Agroecology*, 10(3): 875-895. [In Persian]

Nasseri, A., Abbasi, F., & Akbari, M., 2017. Estimating agriculture water consumption by analyzing water balance. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 18(67): 17-32. [In Persian]

Omidi Nobijar, M., Barani, H., Rahim Forouzeh, M., & Abedi Sarvestani, A., 2025. Evaluation of energy consumption pattern and the effect of indigenous knowledge in rice cultivation system in Gilan Province. *Journal of Crop Production*, 18(4): 50-70. [In Persian]

Singh, R., van Dam, J.C., & Feddes, R.A., 2006. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa

(L. دشت مراغه- بناب، استان آذربایجان شرقی. بوم‌شناسی

کشاورزی، ۱۰(۳): ۸۷۵-۸۹۵.

مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰. سالنامه آماری کشور ۱۴۰۰.

تهران: مرکز آمار ایران.

نصیرپور، ص.، جهانسوز، م.ر.، مقدم، ح.، و محمدزاده، ا.

۱۴۰۲. مقایسه نظام تولید گوجه‌فرنگی (*Solanum*

Lycopersicum L.) و پیاز (*Allium cepa* L.) از نظر

شاخص‌های انرژی، اقتصادی و پتانسیل انتشار گازهای

گلخانه‌ای (مطالعه موردی: شهرستان‌های استان البرز). علوم

گیاهان زراعی ایران، ۵۴(۴): ۱۳۷-۱۵۳

References

Abbasi, F., Sohrab, F., & Abbasi, N., 2017. Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 17(67): 113-120.

Akhavan Giglou, K., Kheiri, M., Ahmadpari, H., Abbasi, S., & Kalateh, F., 2022. Investigating virtual water content and physical and economic water productivity indicators in crop products (Case study: Moghan Plain Irrigation Network, Ardabil Province). *Water and Soil Modeling and Management*, 3(3): 277-295. [In Persian]

Alfi, Kh., Dashti, Gh., & Khorami, Sh., 2014. Analysis of relationships between inputs and economic efficiency in potato production in Ardabil Province. *Knowledge of Agriculture and Sustainable Production*, 22(4.1): 213-224. [In Persian]

Amini, A., Parhamt, J., & Sedri, M.H., 2020. Investigating physical and economic water productivity in major crop products in Talvar Basin, Kurdistan Province. *Watershed Engineering and Management*, 12(2): 481-491. [In Persian]

Azizpanah, A., Yousefinejad, Sh., Fathi, R., 2020. Evaluation of economic, energy and greenhouse gas emission indicators in watermelon production: A case study of Ilam Province. *Journal of Crop Production*, 13(2): 375-390. [In Persian]

Chibarabada, T.P., Modi, A.T., & Mabhaudhi, T., 2020. Options for improving water productivity: A case study of bambara groundnut and groundnut. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 115: 102806.

Delbari, M., Amini Rakan, A., & Sadeghi Marsh, M., 2016. Predicting spatial distribution pattern of groundwater quality indicators in Golestan Province for agricultural uses using geostatistics and GIS. *Hydrogeology*, 1(1): 107-123. [In Persian]

Eshraghi, F., & Ghasemian, S.D., 2012. Investigating economic water use productivity in Golestan Province. *Water Research in Agriculture*, 26(3): 317-322. [In Persian]

Fan, Y., Wang, C., & Nan, Z., 2014. Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid

District, India. Agricultural Water Management, 82: 253-278.

Soleimani, H., & Hasanli, A., 2008. Calculation of cost price, consumption productivity and added value of water for major products in the arid region of Darab. Iranian Agricultural Knowledge, (15): 45-60. [In Persian]

Soltani, Gh., Akbari, M., & Mohammadi, H., 2009. Investigating water productivity in arid regions: A case study in Marvdasht. The Sixth Conference on Agricultural Economics, Mashhad, Iran. [In Persian]

Statistical Center of Iran. 2021. Statistical Yearbook of Iran 2021. Tehran: Statistical Center of Iran.

Tavakoli, A., Hakamabadi, H., Naderi Arefi, A., & Haji, A., 2021. Investigating comparative advantage of agricultural products in Semnan Province with a focus on water productivity. Water and Soil Science, 25(4): 63-81. [In Persian]

Vafabakhsh, C., Haghayeghi, S.A., Khoshbazzm, R., Shalforoshan, S.M., & Fatemi, S.M., 2016. Verification of water consumption and productivity in underground water sources in order to use its results in developing the crop pattern. (Final report). [In Persian]

Vazifeh-Doust, M., Alizadeh, A., Kamali, G., & Feyzi, M., 2008. Increasing water productivity of water irrigated crops in Borkhar irrigation district, Isfahan. Journal of Water and Soil, 22(2): 484-495. [In Persian]

Zahedi, M., Eshghizadeh, H.R., & Mandani, F., 2015. Energy efficiency and productivity in potato and sugar beet production systems in Isfahan Province. Journal of Production and Processing of Crop and Orchard Products, 5(17): 181-191. [In Persian]

Zamani, A., Mortazavi, S.A., Balali, H., 2014. Investigating economic water productivity in different crop products in Bahar Plain. Water Research in Agriculture, 28(1): 51-62. [In Persian]

Zarei Ghorkhodi, A., Shahnezari, A., Dadashi Prashan, 2022. Evaluation of water productivity indicators in production of crop and orchard products in west and center of Mazandaran Province and ranking of study plains. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 16(3): 657-669. [In Persian]