



Original Article

Evaluation of Production Status, Energy Efficiency Indicators and Plant Knowledge Management for Saffron Systems in Herat Province, Afghanistan

Ramin Nazarian¹ , Mahdi Nassiri Mahallati² , Sooror Khorramdel^{3*} 

1- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Herat University, Herat, Afghanistan.

2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*Corresponding author: khorrandel@um.ac.ir

Received: 03 September 2025; **Revised:** 05 October 2025, **Accepted:** 05 December 2025

Extended Abstract

Introduction: Saffron (*Crocus sativus* L.) is one of the most significant medicinal plants with high economic value in the agriculture of Herat Province, Afghanistan. Over the past two decades, saffron cultivation has expanded in Herat, with the Afghan government promoting it as an alternative crop to opium poppy (*Papaver somniferum* L.) and encouraging farmers to grow this valuable product. Saffron is among the most valuable agricultural products that can contribute to job creation. Key reasons for investing in this sector in Afghanistan include achieving food security, ensuring sustainable income, facilitating product exports, and improving the livelihoods of rural households. Analyzing energy consumption in agricultural ecosystems plays a crucial role in enhancing managerial perspectives and improving the quality of planning and decision-making in agricultural management and development. Consequently, energy management has been introduced as a strategy for maximizing the utilization of energy resources. Additionally, energy indicators serve as suitable metrics for assessing performance and efficiency in agricultural ecosystems. Examining the trends of energy inputs and outputs in agricultural systems aims to optimize energy consumption and reduce production costs by minimizing energy expenses. To date, no information has been published regarding the energy balance of agricultural products in Afghanistan, making this study the first of its kind focusing on the energy balance in saffron cultivation within the country. Therefore, there is a necessity to conduct research examining the saffron agricultural ecosystem with a focus on energy efficiency in Herat Province, considering the traditional agricultural system prevalent there.

Materials and Methods: To study the saffron agricultural ecosystem and energy consumption indicators in farms over a six-year period, data were collected through questionnaires and analyzed accordingly. Each questionnaire contained questions



regarding input and output energy in saffron cultivation. A total of 50 questionnaires were completed through face-to-face interviews with farmers.

Results and Discussion: The results indicated that in 2023, Herat Province had an area under saffron cultivation of 7,952 hectares, yielding 22,240 kilograms, which accounted for 95.6% of the total saffron production in the country. The highest energy consumption during the first year of saffron cultivation was attributed to corms (33.57% of total energy input). Over six years of saffron cultivation, the energy consumption was distributed among chemical fertilizers, irrigation water, organic fertilizers, human labor, electricity, and fuel, accounting for 24.4%, 17.04%, 15.04%, 6.88%, 1.00%, and 1.57% of total energy input, respectively. The energy efficiency of saffron based on stigmas was calculated at 0.001, with an energy productivity of 0.00007 kilograms per megajoule consumed. The specific energy and net energy values for saffron production in Afghanistan were determined to be 14,969 megajoules per kilogram and -132,577 megajoules per hectare, respectively. Saffron cultivation in Afghanistan is traditionally practiced on small plots of land, with all operations such as plowing, land preparation, transporting and distributing chemical and organic fertilizers, planting corms, maintenance, harvesting flowers and stigmas, and collecting corms in the final year being carried out manually. Due to the high costs of fuel and electricity in Afghanistan, their share in saffron production has decreased to minimal levels (1.57% and 1% of total energy input). Therefore, the lower proportion of direct energy inputs (26.49% of total energy input) in the saffron agricultural ecosystem can be attributed to the low share of fuel and electricity consumption. Conversely, the higher share of renewable energy (57.49% of total energy input) indicates the relative sustainability of the saffron agricultural system in Herat Province.

Conclusion: The significance of saffron cultivation in Afghanistan arises from various aspects such as low water requirements, higher income generation compared to other crops, family-based farming practices, job creation for rural communities, reduced reliance on machinery, prevention of migration, serving as an alternative crop to opium poppy, and its potential for foreign exchange earnings and non-oil export development. Although the ratio of produced to consumed energy in saffron agriculture is low, this research demonstrates that saffron is cultivated ecologically on small plots of land in Herat using traditional methods. Given its economic value, saffron plays a more significant role than other crops in the region's agricultural pattern, contributing to job creation and improving the livelihoods of rural residents.

Conflict of Interest: There are no conflicts of interest by the authors.

Keywords: Ecological agriculture, Energy productivity, Energy use efficiency, Renewable energy, Net energy.



نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)

جلد چهاردهم، شماره اول، بهار و تابستان

شماره صفحه: ۹۱ - ۷۲

doi 10.22077/jsr.2025.10018.1287

مقاله پژوهشی

ارزیابی وضعیت تولید، شاخص‌های کارایی انرژی و مدیریت دانش گیاه زعفران در استان هرات-افغانستان

رامین نظریان^۱، مهدی نصیری محلاتی^۲، سرور خرم دل^{۳*}

۱- دانشیار، گروه آگرونومی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرات، هرات، افغانستان.

۲- استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- دانشیار، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*نویسنده مسئول: khorramdel@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۴

چکیده

زعفران (*Crocus sativus* L.) یکی از عمده‌ترین گیاهان دارویی با ارزش اقتصادی بالا در زراعت استان هرات افغانستان محسوب می‌شود. این مطالعه با هدف بررسی وضعیت تولید و مطالعه شاخص‌های مصرف انرژی در مزارع زعفران در طی دوره-ای شش ساله، از طریق پرسشنامه جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که استان هرات در سال ۲۰۲۳ (۱۴۰۲) با سطح زیر کشت ۷۹۵۲ هکتار و تولید ۲۲۲۴۰ کیلوگرم زعفران خشک، ۹۵/۶ درصد از کل تولید زعفران را در کشور افغانستان بخود اختصاص داده است. بیشترین انرژی مصرفی در سال اول مربوط به بنه مادری (۳۳/۵۷ درصد از کل انرژی ورودی) بود. در حالی که بیشترین انرژی‌های مصرفی طی شش سال به ترتیب مربوط به کودهای شیمیایی، آب آبیاری، کود دامی، نیروی انسانی، سوخت و الکتریسیته با ۲۴/۴، ۱۷/۰۴، ۱۵/۰۴، ۶/۸۸، ۱/۵۷ و ۱/۰۰ درصد از کل انرژی‌های ورودی بود. کارایی مصرف انرژی بر اساس کلالة ۰/۰۰۱، بهره‌وری انرژی ۰/۰۰۰۰۷ کیلوگرم به ازای مصرف هرمگاژول، انرژی مخصوص و انرژی خالص نیز به ترتیب برابر با ۱۴۹۶۹/۱ مگاژول بر کیلوگرم و ۱۳۲۵۷۷/۱ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. اگرچه نسبت انرژی تولیدی به مصرفی در زراعت زعفران در کشور افغانستان نسبتاً پایین است، ولی نتایج این تحقیق نشان داد که زعفران در استان هرات به صورت اکولوژیک در زمین‌های با مساحت کم و به شیوه سنتی کشت می‌شود. با این وجود، به دلیل ارزآوری، نقش اقتصادی بالاتری نسبت به دیگر گیاهان در الگوی کشت منطقه داشته و باعث اشتغال‌زایی و بهبود معیشت روستاییان می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، انرژی خالص، بهره‌وری انرژی، کارایی مصرف انرژی، کشاورزی اکولوژیک.



Copyright © 2026 by the authors
Published by University of Birjand. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) یکی از مهمترین گیاهان دارویی و با ارزش دنیا و دارای آشیانه اکولوژیکی ویژه (Khorramdel et al., 2022) است. اگرچه کشت زعفران در ابتدا محدود به برخی زیستگاه‌های جغرافیایی بود، ولی بدلیل ارزش اقتصادی بالا و از طرفی تغییرات اقلیمی و همچنین نیاز آبی نسبتاً پایین، کشت آن در بسیاری از مناطق جهان گسترش یافته است (Mathew, 1999). در دو دهه اخیر، کشت زعفران در استان هرات توسعه یافته و دولت افغانستان آن را بعنوان کشت جایگزین خشخاش (*Papaver somniferum* L.) به کشاورزان معرفی و آنها را تشویق به تولید این محصول با ارزش نموده است (Nazarian et al., 2018). از دلایل اصلی سرمایه‌گذاری روی این گیاه در افغانستان می‌توان به تامین امنیت غذایی، درآمد پایدار، امکان صادرات محصول و بهبود معیشت خانوارهای روستایی اشاره نمود (Shwoban et al., 2020). تقاضا برای خرید زعفران در جهان رو به افزایش بوده و صادرات آن ارزآوری خوبی را به همراه دارد. همچنین بعلت اشتغال‌زایی، ماندگاری بالا و حمل و نقل آسان، زعفران نوعی محصول مهم اقتصادی و راهبردی محسوب می‌شود.

بوم‌نظام‌های زراعی در کشور افغانستان اغلب به روش‌های سنتی مدیریت می‌شوند و با توجه به شرایط اقتصادی فعلی در این کشور کشاورزان ناچار به تولید در نظام‌های کم‌نهاد هستند (Jami et al., 2025). زعفران با مصرف کم نهاده‌ها، ارزش اقتصادی بالا، نیاز آبی پایین و قابلیت سازگاری با اقلیم‌های خشک، یکی از گونه‌های راهبردی برای ارتقاء کشاورزی پایدار در مناطقی مانند هرات محسوب می‌شود. استان هرات افغانستان از نظر جغرافیایی در همسایگی استان خراسان در ایران، بزرگترین مرکز تولید زعفران در دنیا، قرار دارد. این استان نیز بزرگترین مرکز تولید زعفران در افغانستان محسوب می‌شود؛ بطوری‌که بیش از ۹۰ درصد تولید این کشور را به خود اختصاص داده است (Nazarian et al., 2024). ولی در سال‌های اخیر زعفران به سایر استان‌ها نیز معرفی شده و کشت آن توسعه یافته است (Jami et al., 2024). اگرچه افغانستان جزء ده کشور عمده تولید کننده و صادر کننده زعفران محسوب می‌شود، ولی تغییرات اقلیمی بر

مقدار تولید سالانه آن اثر گذاشته که البته این امر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی جهانی دستخوش تغییراتی بوده است (Khorramdel, 2024; Khorramdel & Mirzaeian, 2025). بنابراین، توسعه علمی و حمایتی از زراعت زعفران در هرات می‌تواند گامی مهم در راستای بهبود امنیت غذایی، پایداری محیط‌زیست و معیشت کشاورزان باشد.

انرژی یکی از مهمترین عوامل تولید و نهاده‌های توسعه در بخش‌های مختلف چون کشاورزی است؛ به طوری‌که تامین به موقع، مطمئن و ارزان انرژی مورد نیاز برای تولید اهمیت ویژه‌ای در افزایش عملکرد در واحد سطح و صادرات محصولات کشاورزی دارد (Hashemi et al., 2025). بر این اساس، تجزیه و تحلیل انرژی مصرفی در بوم‌نظام‌های کشاورزی نقش مهمی در توسعه دیدگاه مدیران داشته و موجب ارتقای کیفی برنامه‌ریزی در مدیریت و توسعه می‌شود (Rathke & Diepenbrock, 2006; Guzmán & de Molina, 2015). بنابراین، مدیریت انرژی به عنوان راهبردی برای بهره‌برداری حداکثری از منابع انرژی معرفی شده است (Kaab et al., 2023).

از طرف دیگر، شاخص‌های انرژی معیار مناسبی برای ارزیابی وضعیت پایداری در بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشد، بطوری‌که بررسی روند انرژی‌های ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های زراعی به عنوان راهکاری پایدار در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های تولید از طریق کاهش هزینه‌های مصرف انرژی معرفی شده است (Nassiri & Singh, 2009). بنابر اصول جدید کشاورزی، مقدار تولید بر پایه کارایی انرژی سنجیده شده و استفاده موثر از انرژی در بخش کشاورزی نقش اساسی در پایداری تولید، بهینه‌سازی اقتصادی بوم‌نظام، حفظ ذخایر سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی داشته (Rahimizadeh et al., 2007) و با افزایش روزافزون جمعیت جهان و محدودیت انرژی، دسترسی به انرژی کافی در آینده از جهات مختلف دشوارتر خواهد بود (Rahimizadeh et al., 2007). افزایش تقاضای مداوم برای مواد غذایی، استفاده بیشتر از کودها، مواد شیمیایی و ماشین‌آلات را افزایش داده و فشار بر منابع طبیعی را تشدید می‌نماید که باعث بروز

و کارایی مصرف انرژی بر اساس وزن کلاله ۰/۰۰۲، بهره‌وری انرژی ۰/۰۰۱ کیلوگرم بر مگاژول، انرژی ویژه ۴/۸ کیلوگرم بر مگاژول و انرژی خالص تولید بر اساس کلاله ۱۳۸۰۴۱- بدست آمد (Khobbakht et al., 2024). در مطالعه‌ای روی مقایسه بیلان انرژی در زراعت زعفران و گندم به عنوان دو محصول مهم و اصلی در استان خراسان، بیشترین میزان مصرف انرژی به ترتیب مربوط به بنه مصرفی (۵۹/۶۶ درصد) و کود نیتروژن (۱۳/۷۹ درصد) اختصاص داشت، در حالی که در زراعت گندم کود نیتروژن (۲۵/۸۹ درصد) و برق (۱۸/۶۴ درصد) پرمصرف‌ترین نهاده‌ها بودند. شاخص بهره‌وری مصرف انرژی برای زعفران و گندم به ترتیب (۰/۰۳۵ و ۲/۶۳) محاسبه شد (Sahabi et al., 2016). در بررسی کارایی مصرف انرژی در زراعت سورگوم علوفه‌ای در منطقه سیستان گزارش شد که بیشترین انرژی ورودی به ازای هر هکتار به ترتیب به الکتریسیته (۱۷۰۰۱/۱ مگاژول)، کودهای شیمیایی (۵۵۶۶/۹ مگاژول) و گازوئیل (۵۲۲۴/۱ مگاژول) اختصاص داشت و سهم انرژی‌های ورودی به صورت مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر به ترتیب برابر با ۷۹، ۲۱، ۲۲ و ۷۸ درصد محاسبه شد (Fartout Enayat et al., 2017). همچنین ارزیابی انرژی در تولید گندم در گرگان نشان داد که بیشترین انرژی ورودی متعلق به کودهای شیمیایی و سوخت به ترتیب با ۴۵/۸ و ۲۲/۵ درصد از کل انرژی ورودی بود و متوسط کارایی انرژی، انرژی ویژه و بهره‌وری انرژی به ترتیب برابر با ۶/۳، ۴ گیگاژول بر تن و ۰/۳ تن بر گیگاژول محاسبه شد (Rajaby et al., 2012). کل انرژی مصرفی برای تولید آفتابگردان در ترکیه برابر با ۱۸۹۲۱ مگاژول در هکتار بوده که بیشترین سهم به مصرف کودهای شیمیایی و سوخت فسیلی (به ترتیب با ۵۱/۳ و ۲۸/۵ درصد) اختصاص داشت (Uzuno et al., 2008). در مطالعه‌ای روی کارایی انرژی و بهره‌وری در نظام‌های تولید سیب‌زمینی و چغندر قند در استان اصفهان ملاحظه شد که کل انرژی عوامل و نهاده‌های مصرفی در نظام تولید سیب‌زمینی برابر ۸۴۶۳۳ مگاژول در هکتار (۵۶/۴ درصد سهم انرژی‌های مستقیم، ۴۳/۷ درصد برای انرژی‌های غیرمستقیم، ۳۳/۹ درصد مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر و ۶۶/۱ درصد سهم انرژی‌های تجدیدنپذیر) و در نظام تولید

مشکلاتی برای سلامت انسان‌ها و محیط زیست شده است (Hashemi et al., 2025).

افزایش مصرف انرژی باعث تشدید هزینه‌های تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. علاوه بر این، تأثیر آلودگی بطور مستقیم سلامت عمومی انسان‌ها و سایر اجزای بوم‌نظام را تحت تأثیر قرار داده که باعث تحمیل هزینه‌های سنگین اجتماعی و زیست محیطی می‌گردد (Kaab et al., 2023). نگرش توسعه پایدار به بهره‌برداری معقول از منابع طبیعی و احترام به طبیعت اشاره دارد. در این بهره‌برداری باید توان طبیعت مورد توجه قرار گیرد تا نظم طبیعی محیط زیست را دگرگون نسازد و باعث تخریب و آلودگی نشود. در این نگرش، از منابع باید به گونه‌ای استفاده شود که نه تنها نیاز نسل فعلی را برآورده کند، بلکه امکان تأمین نیازهای نسل آینده نیز فراهم شود (Rezadoust, 2001). نظام‌های زراعی متداول کنونی کاملاً متکی به مصرف انرژی به شکل نهاده‌های مختلف هستند که از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آسیب‌پذیر می‌باشند و به همین دلیل در اواخر قرن بیستم دیدگاه‌های جدیدی در قالب افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها، حفاظت از محیط زیست، اقتصاد اکولوژیک و در نهایت، تأمین غذا و امنیت غذایی مطرح شده است. در این راستا نظام‌هایی تحت عناوین مختلف از جمله کشاورزی پایدار، کشاورزی اکولوژیک، کشاورزی کم‌نهاده، کشاورزی ارگانیک و کشاورزی تجدید شونده معرفی گردیدند (Koocheki, 1994). نتایج برخی مطالعات اخیر نشان داده که نظام‌های کم‌نهاده و خانوادگی مانند زعفران می‌تواند اثرات مثبتی بر شاخص‌های انرژی و اقتصادی و تخفیف پیامدهای زیست‌محیطی در مقایسه با نظام‌های پرنهاده داشته باشد (Khorramdel et al., 2020) که البته اثرات زیست‌محیطی نظام تولید زعفران تحت تأثیر اندازه زمین نیز قرار گرفته است (Khorramdel et al., 2022).

مطالعه الگوی مصرف انرژی برای تولید زعفران در ایران نیز نشان داد که بنه (۵۴/۱۱ درصد از کل انرژی مصرفی) پرمصرف‌ترین نهاده و بعد از آن کود دامی (۱۳/۵۱ درصد از کل انرژی مصرفی) و برق (۱۱ درصد از کل انرژی مصرفی) بیشترین منابع انرژی مصرفی را به خود اختصاص دادند. در این مطالعه، نسبت انرژی‌های تجدیدپذیر به تجدیدنپذیر بیشتر برآورد شد

محصولات تولید شده بهبود یافته که به دلیل کاهش اثرات مخرب سموم و مواد شیمیایی در زنجیره غذایی، تبعات زیست‌محیطی کمتری را نیز به دنبال دارد. از طرف دیگر، تولید با رعایت اصول آگرواکولوژیک باعث شده تا صادرات این کشور در زمینه محصولات مانند زعفران، آجیل و میوه‌های خشک، گیاهان دارویی و ادویه‌جات، سهم مناسبی از بازارهای بین‌المللی را بخود اختصاص دهند و منبع ارزآوری برای کشور محسوب شوند. لازم به ذکر است که در مورد بیلان انرژی محصولات کشاورزی در افغانستان تاکنون هیچگونه اطلاعاتی منتشر نشده و این نخستین مطالعه‌ای است که در زمینه وضعیت سطح زیرکشت، تولید و بیلان انرژی در زراعت زعفران در این کشور انجام می‌شود. در همین راستا، با توجه به اهمیت زعفران در کشور افغانستان به عنوان یکی از مناطق اصلی کشت این محصول در دنیا، این ضرورت احساس شد تا این تحقیق به منظور بررسی وضعیت سطح زیرکشت، عملکرد، تولید و شاخص‌های انرژی در بوم‌نظام‌های تولید زعفران در استان هرات صورت گیرد.

مواد و روش‌ها

اهمیت و وضعیت منطقه مورد مطالعه: هرات دومین استان پهناور در کشور افغانستان با مساحت ۵۵۸۶۸ کیلومتر مربع و جمعیت حدود سه میلیون نفر می‌باشد که از شمال به کشور ترکمنستان، از شرق به استان‌های غور و بادغیس، از جنوب به استان فراه و از غرب به کشور ایران محدود است (شکل ۱).

چغندر قند برابر ۶۱۸۶۲ مگاژول در هکتار (۶۶/۴ درصد برای انرژی‌های مستقیم، ۳۳/۶ درصد مربوط به انرژی‌های غیرمستقیم، ۲۳/۲ درصد سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و ۷۶/۸ درصد برای انرژی‌های تجدیدناپذیر) محاسبه شد. بعلاوه، بیشترین انرژی مصرف شده در نظام‌های تولید سیب‌زمینی و چغندر قند متعلق به مصرف سوخت فسیلی گازوئیل (به ترتیب با ۳۳/۷ و ۴۰/۵ درصد)، آب آبیاری (به ترتیب با ۱۴/۳ و ۱۶/۴ درصد) و کود نیتروژن (به ترتیب با ۱۴/۱ و ۱۵/۹ درصد) بود (Zahedi et al., 2015). بررسی روند مصرف و محاسبه شاخص‌های انرژی در تولید غلات آبی (شامل گندم، جو، برنج و ذرت) در کشور ایران طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۷۹-۹۹) بیانگر افزایش انرژی مصرفی ناشی از تمام نهاده‌ها بود؛ بطوری‌که مصرف کودهای شیمیایی با افزایش ۲۸/۲ درصد طی این دوره بیشترین سهم از کل انرژی‌های ورودی را به خود اختصاص داد (Hashemi et al., 2025).

تحقیقات بیانگر این مطلب است که مقدار تولید محصولات زراعی در کشورهای پیشرفته، بدلیل مصرف زیاد انرژی، نسبت به کشورهای توسعه‌نیافته بیشتر است. در حالی‌که در تمامی بوم‌نظام‌های زراعی مبتنی بر اصول اکولوژیک، کاهش مصرف انرژی و وابستگی به نهاده‌ها و افزایش کارایی انرژی از جمله اهداف اصلی و اساسی محسوب می‌شود. سیستم کشاورزی در افغانستان بصورت سنتی مبتنی بر مصرف حداقل انرژی و نهاده‌های تولید است. باوجود پایین بودن مقدار تولید محصولات کشاورزی در این کشور، در مقابل کیفیت



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان هرات در کشور افغانستان.

Fig 1. The geographical location of Herat province in Afghanistan.

سال اول و برداشت بنه‌های دختری آن بعد از سال ششم، سایر عملیات همه ساله طی سال‌های دوم تا ششم (برابر با پنج مرتبه) تکرار می‌شود. لازم به ذکر است که جهت بررسی وضعیت سطح زیر کشت و مقدار تولید زعفران در کشور از آمار ارایه شده توسط وزارت زراعت، آبیاری و مالداري افغانستان استفاده شد (ASYB, 2024).

محاسبه شاخص‌های انرژی: به منظور بررسی شاخص‌های انرژی در زراعت زعفران در استان هرات طی یک دوره شش ساله، دو نوع پرسشنامه یکی مربوط به سال اول کاشت و دیگری مربوط به عملیات داشت و برداشت در سال‌های دوم تا ششم تهیه گردید و در هر فرم به سوالاتی در مورد انرژی‌های ورودی و خروجی در زراعت این محصول پاسخ داده شد. اطلاعات مورد نیاز شامل میزان مصرف نهاده‌ها (اعم از نیروی انسانی، سوخت، ماشین آلات، نهاده‌های شیمیایی، الکتریسته، آب، کود دامی و بذر) و میزان عملکرد در واحد سطح بود. جهت تعیین تعداد نمونه (N) از معادله کوکران (معادله ۱) استفاده شد (Cochran, 1977).

$$N = S^2 Z^2 / e^2 \quad \text{معادله (۱)}$$

برای این منظور، در ابتدا تعداد ۱۰ مزرعه بصورت تصادفی از مناطق مختلف هرات که تحت کشت زعفران بود، بعنوان نمونه انتخاب و واریانس (S^2) بین نمونه‌ها محاسبه شد و سپس با اطمینان ۹۵ درصد ($Z_{5\%} = 1.96$) و پذیرش ۱۰ درصد خطا ($e = 0.1$) حجم نمونه (N) تعیین گردید. بر این اساس، تعداد ۵۰ نمونه (تعداد مزارع مورد مطالعه) تعیین شد و اطلاعات لازم مربوط به کشت زعفران ۵۰ مزرعه در مناطق مختلف هرات در پرسشنامه‌ها ثبت گردید. مزارع زعفران مورد مطالعه بطور متوسط دارای مساحت ۲-۳ هزار مترمربع و سن ۳-۴ سال بودند.

میزان انرژی نهاده‌ها و عملیات ورودی و خروجی برای زعفران طی سال‌های اول تا ششم زراعت این محصول، با استفاده از معادل‌های انرژی ارائه شده در جدول ۱ محاسبه شد.

استان هرات در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و ۶۱ درجه و ۷۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. متوسط مقدار بارندگی در این استان حدود ۳۰۰ میلی متر گزارش شده اما با بروز تغییرات اقلیمی، مقدار بارندگی با نوسانات شدیدی روبرو بوده و این استان جزء مناطق با اقلیم خشک و نیمه خشک طبقه‌بندی شده است.

کشاورزان در استان هرات عملیات آماده‌سازی زمین را در مرداد ماه آغاز کرده و کود حیوانی پوسیده (۲۰ تا ۳۰ تن در هکتار) و کود فسفاته (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) را به زمین اضافه و با لایه سطحی خاک مخلوط می‌کنند. سپس بعد از تسطیح زمین، کشت بنه‌های مادری با تراکم ۵۰ بنه در متر مربع با فاصله ردیف ۲۵ سانتیمتر انجام می‌شود. بنه‌ها با حداقل وزن ۸ گرم جهت کشت انتخاب و با قارچ‌کش تیمار می‌گردند. بنابراین، حدود چهار تن در هکتار در سال اول بنه کشت می‌شود که معمولاً تا شش سال در زمین باقی مانده و همه ساله تولید گل و زعفران می‌نماید. بعد از اتمام عملیات کاشت نسبت به کرت‌بندی اقدام می‌شود. اولین آبیاری در پاییز به صورت غرقابی، معمولاً اواخر مهر تا اواسط آبان ماه، صورت می‌گیرد. گل‌های زعفران دو تا سه هفته بعد از آبیاری مصادف با سرد شدن هوا ظاهر می‌شوند. مناسب‌ترین درجه حرارت شبانه روز جهت گلدهی بین ۱۰ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Koochaki et al., 2010). گلدهی حدود دو تا سه هفته به طول می‌انجامد. بعد از گلدهی کود اوره به مقدار ۳۰ تا ۵۰ کیلو گرم در هکتار بصورت سرک جهت تسریع در رشد برگ‌ها و فتوسنتز مصرف شده و بلافاصله نسبت به دومین آبیاری (زاج آب) اقدام می‌شود. آبیاری‌های سوم و چهارم ممکن است با پراکنش بارندگی‌های زمستانه مصادف بوده و شاید هم نیاز نباشد، ولی آخرین آبیاری در اواخر فروردین تا اواسط اردیبهشت ماه همزمان با زرد شدن برگ‌ها و قبل از مرحله رکود و به خواب رفتن زعفران ضروری می‌باشد. کلیه عملیات خاک‌ورزی جهت آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت، برداشت گل، جداسازی کلالة و فراوری در هرات با نیروی انسانی انجام می‌شود. البته بجز عملیات آماده‌سازی زمین و کاشت بنه‌های مادری در

جدول ۱. معادل انرژی‌های ورودی و خروجی در نظام تولید زعفران

Table 1. Equivalent input and output energies for saffron production

ورودی‌ها و خروجی‌ها Inputs and Outputs	واحد Unit	معادل انرژی Energy equivalent (MJ. unit ⁻¹)	منبع Reference
الف- ورودی‌ها A) Inputs			
نیروی انسانی Human labor	ساعت hr	1.96	(Mohammadi et al., 2008; Ozkan et al., 2004; Yilmaz et al., 2005; Singh et al., 2002)
ماشین آلات Machinery	ساعت hr	62.70	(Erdal et al., 2007; Singh, 2002)
سوخت Diesel	لیتر lit	56.31	(Mohammadi et al., 2008; Erdal et al., 2007; Singh, 2002)
کود دامی Organic fertilizer	تن ton	0.30	(Demircan et al., 2006; Ozkan et al., 2004; Singh et al., 2002)
کودهای شیمیایی: Chemical fertilizers:			
۱- نیتروژن (اوره) 1) Nitrogen (Urea)	کیلوگرم kg	66.14	(Mohammadi et al., 2008; Esengun et al., 2007; Yilmaz et al., 2005)
۲- فسفات (P ₂ O ₅) 2) Phosphate (P ₂ O ₅)	کیلوگرم kg	12.44	(Mohammadi et al., 2008; Esengun et al., 2007; Yilmaz et al., 2005)
۳- پتاسیم (K ₂ O) 3) Potassium (K ₂ O)	کیلوگرم kg	11.15	(Esengun et al., 2007; Shrestha, 1998; Yilmaz et al., 2005)
مواد شیمیایی: Chemicals:			
۱- علف‌کش 1) Herbicide	کیلوگرم/لیتر kg/lit	238.32	(Mohammadi et al., 2008; Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)
۲- آفت‌کش 2) Pesticide	لیتر lit	280.44	(Mohammadi et al., 2008; Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)
۳- قارچ‌کش 3) Fungicide	کیلوگرم kg	181.90	(Mohammadi et al., 2008; Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)
الکتریسته Electricity	کیلووات kw	3.60	(Mohammadi et al., 2008; Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)
آب Water	مترمکعب m ³	1.02	(Acaroglu & Aksoy, 2005)
بنه Corm	کیلوگرم kg	20.10	(Mohammadi et al., 2008; Ozkan et al., 2004)
ب- خروجی‌ها B) Outputs			
عملکرد بنه Corm yield	کیلوگرم kg	14.97	(Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)
عملکرد برگ Leaf yield	کیلوگرم kg	17.4	(Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)
عملکرد کلاله Stigma yield	کیلوگرم kg	19.8	(Feizi et al., 2015; Sahabi et al., 2016)

جدول ۲. معادل انرژی به ازای هر گرم از اندام‌های مختلف زعفران

Table 2. Energy equivalents of different saffron plant organs, determined using a bomb calorimeter

کلاله Stigma	خامه Sepal	پرچم Stamen	گلبرگ Petal	بنه دختری Daughter corm	معادل انرژی Energy equivalent
4651.3	3763.2	3986.9	3504.4	3442.9	بر اساس Kcal
19.8	15.75	16.68	17.4	14.97	بر اساس MJ

ارزیابی تغییرات سطح زیر کشت و تولید

اگرچه کشت زعفران در افغانستان قدمتی دیرینه دارد، ولی عملاً با بازگشت مهاجرین از ایران که مقداری بنه زعفران به همراه آورده و در آنجا به کشاورزی مشغول بودند، آغاز شد. سپس سازمان های غیر دولتی خارجی نیز بنه های اسپانیایی را از کشور هلند وارد نمودند و جهت توسعه کشت این گیاه در دسترس سایر کشاورزان قرار دادند. نتایج بررسی مقایسه شاخص های کمی و کیفی گل در اکوتیپ های ایرانی و اسپانیایی زعفران مؤید آن است، که با وجود کمتر بودن ارتفاع بوته در بنه های اسپانیایی نسبت به بنه های ایرانی (زاویه قرارگیری برگ های زعفران نسبت به هم در نمونه های اسپانیایی بازتر و افتاده تر بود لذا نسبت به نوع ایرانی کوتاهتر بنظر می رسید)، ولی از نظر خصوصیات ظاهری تفاوت چندانی بین آنها دیده نشد. بیشترین مقدار کروسین (۲۰۰/۷۳)، پیکروکروسین (۷۱/۲۴) و سافرانال (۲۸/۹۱) متعلق به بنه های اسپانیایی بود، در حالی که بنه های ایرانی از نظر مقدار تولید کلاله خشک (۰/۱۴۴ گرم بر مترمربع) برتری داشتند (Nazarian et al., 2018).

بررسی تغییرات سطح زیر کشت و مقدار تولید زعفران در افغانستان طی ۲۰ سال گذشته نشان داد که استان هرات تا سال ۲۰۱۳ (۱۳۹۲) تنها استان تولید کننده زعفران در این کشور بود. سپس کشت و تولید آن به استان های دیگر در افغانستان نیز توسعه یافت. با این وجود، استان هرات در سال ۲۰۲۳ (۱۴۰۲) با سطح زیر کشت ۷۹۵۲ هکتار و مقدار تولید کلاله خشک زعفران ۲۲۲۴۰ کیلوگرم، ۹۵/۶ درصد از کل تولید زعفران در کشور افغانستان را بخود اختصاص داد (جدول ۳).

شاخص های مورد مطالعه شامل کل انرژی های ورودی و خروجی، انرژی های مستقیم (شامل نیروی انسانی، سوخت، الکتریسیته و آب) و غیرمستقیم (شامل انرژی-های ذخیره شده در بذر، ماشین آلات، کود و سموم شیمیایی)، تجدیدپذیر (شامل نیروی انسانی، بذر و آب) و تجدید ناپذیر (شامل سوخت، الکتریسیته، کودها و سموم شیمیایی)، شاخص های کارایی انرژی اعم از انرژی مخصوص^۱، انرژی خالص^۲، کارایی مصرف انرژی^۳ و بهره‌وری انرژی^۴ بودند که به ترتیب با استفاده از معادله های ۲، ۳، ۴ و ۵ محاسبه گردیدند (Demircan et al., 2006).

$$Sp.E = \text{Input energy} / \text{output Crop} \quad (2)$$

$$Net E = \text{Output energy} - \text{Input energy} \quad (3)$$

$$EUE = \text{Output energy} / \text{Input energy} \quad (4)$$

$$E.P = \text{Output Crop} / \text{Input energy} \quad (5)$$

برای تعیین مقدار معادل انرژی در اندام های مختلف زعفران شامل بنه، خامه، کلاله، گلبرگ و پرچم نمونه هایی از هریک از اندام های فوق در آون رطوبت-گیری شد. سپس جهت محاسبه میزان انرژی این اندام ها، مقدار یک گرم ماده خشک از هر اندام گیاهی به صورت جداگانه در داخل بمب کالریمتری قرار داده شد و انرژی به دست آمده طبق جدول ۲ محاسبه گردید (Mosht-Afkan et al., 2021).

برای تعیین مقدار انرژی خروجی مزارع وزن اندام های مورد استفاده شامل بنه، برگ و کلاله ثبت شده و از حاصل ضرب مقدار فوق در معادل انرژی آن اندام، مقدار انرژی خروجی محاسبه گردید. با قرار دادن مقدار انرژی ورودی و خروجی در معادلات مربوطه، شاخص های انرژی برآورد شد.

نتایج و بحث

- 1- Specific energy
- 2- Net energy
- 3- Energy use efficiency
- 4- Energy productivity

جدول ۳. تغییرات سطح زیر کشت و مقدار تولید زعفران طی ۲۰ سال اخیر در استان هرات در افغانستان
 Table 3. Saffron cultivation area variations and production over the last 20 years in Herat – Afghanistan

سال Year	کل Total		استان هرات Herat Provinces		
	سطح زیر کشت Area (ha)	تولید Production (kg)	سطح زیر کشت Area (ha)	تولید Production (kg)	درصد تولید از کل Percentage (%)
2004	16	60	16	60	100
2005	40	150	40	150	100
2006	83	240	83	240	100
2007	161	400	161	400	100
2008	260	900	260	900	100
2009	305	1500	305	1500	100
2010	400	1700	400	1700	100
2011	560	1800	560	1800	100
2012	650	2700	650	2700	100
2013	700	3000	700	3000	100
2014	850	3145	800	3050	96.9
2015	1020	3500	950	3300	94.3
2016	2811	6200	2500	5620	90.6
2018	6246.8	12955	5926.05	11804	91.1
2019	7558	19650	7000.3	18200.8	92.6
2020	7716	19800	7311	18935.5	96.4
2021	8409	10903	8076	10178	93.4
2022	8081	22919	7703	21780	95
2023	8304	23249	7952	22240	95.6

مراکز مختلف کشت، تولید، پرکنی، فراوری و بسته‌بندی زعفران در استان هرات مشغول به کار بوده و از این طریق، امرار معاش می‌نمایند که این موضوع نیز موجب اشتغال‌زایی و بهبود رفاه اجتماعی برای خانواده‌های روستایی شده است. همچنین استان هرات بیش از ۹۰ درصد زعفران این کشور را تولید می‌کند (Shwoban et al., 2020). برخی مطالعات اخیر نشان داده که بیشترین اثر کشت زعفران بر وضعیت خانواده‌های کشاورزان از لحاظ اقتصادی می‌باشد. به طوری‌که میزان درآمد و پس‌انداز اعضای خانواده بخصوص زنان، بدلیل تنوع در فعالیتهای اقتصادی و شغلی و همچنین ایجاد فعالیتهای جانبی تولید این محصول، بطور قابل توجهی افزایش یافته و این امر به طور کلی، باعث افزایش سطح رفاه و توانمندی خانواده‌های روستایی زعفران‌کار شده است (Sadeghi et al., 2018).

زراعت زعفران در افغانستان طی دو دهه گذشته توسعه چشم‌گیری داشته و در این میان استان هرات پیشتاز بوده است. بدلیل مجاورت این استان با کشور ایران، از سال ۲۰۰۳ تاکنون با روی کار آمدن دولت جدید و بازگشت مهاجرین به کشور، ابتدا کشت زعفران در هرات و بخصوص در شهرستان‌های مرزی غوریان و پشتون زرغون رونق گرفت، سپس در تمام شهرستان‌های استان هرات به طور چشمگیری توسعه یافت. از سال ۲۰۱۴ با ترویج وزارت زراعت، آبیاری و مالداري افغانستان کشت این محصول استراتژیک به سایر استان‌های کشور نیز گسترش یافت. گسترش کشت زعفران در ۳۱ استان در کشور افغانستان، سبب ایجاد اشتغال برای حدود ۱۱ هزار خانواده کشاورز شده و درآمدی بیش از ۱۸ میلیون دلار را در سال ۱۳۹۵ برای آنها ایجاد کرده است (CSO, 2016). بعلاوه، حدود ۱۶ هزار مرد و ۴/۵ هزار زن در سال ۱۳۹۹ در

اهمیت کشت زعفران در افغانستان از جنبه‌های مختلف نظیر نیاز آبی کم و بهره‌وری بالای آب در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی، درآمدزایی بیشتر نسبت به سایر محصولات، کشت خانوادگی و اشتغال‌زایی برای روستاییان، عدم نیاز به ماشین آلات، جلوگیری از مهاجرت، جایگزین مناسب برای کشت خشخاش، ارزآوری و توسعه صادرات غیرنفتی نیز حایز اهمیت می‌باشد. زعفران تولید شده در افغانستان به دلیل شرایط مناسب اقلیمی، مصرف کم سموم و مواد شیمیایی دارای کیفیت مناسب می‌باشد، بطوری‌که برای نهمین بار، مقام اول را بعنوان مرغوب‌ترین زعفران جهان از میان ۳۰۰ نوع از کشورهای مختلف از نظر مرکز جهانی ذائقه و کیفیت مواد غذایی^۱ در بلژیک به خود اختصاص داد (ITQIA, 2023). همچنین مقایسه خصوصیات کیفی زعفران تولید شده در هرات (افغانستان) و تربت حیدریه (ایران) نشان داد که نمونه هرات از لحاظ ویژگی‌های کیفی (شامل کروستین، پیکروکروستین و سافرانال) برتر بود (Nazarian et al., 2024). به طور کلی، مجموع این عوامل موجب ایجاد انگیزه برای تولید و توسعه بیشتر سطح زیر کشت این محصول در مناطق مختلف افغانستان به دلیل ایجاد تقاضا شده است.

محصول زعفران در پاییز و زمستان که آب نسبتاً فراوان است و بجز گندم معمولاً محصول دیگری روی زمین نیست، رشد می‌کند. از طرف دیگر، نیاز آبی زعفران کم و فصل رشد آن مطابق با پراکندگی بارندگی‌ها می‌باشد. لذا مجموع عوامل فوق باعث شده تا کشاورزان به کشت این محصول استراتژیک روی آورند. در افغانستان آب به عنوان محدودکننده‌ترین عامل تولید، اولویت و نوع کشت را تعیین نموده و کشاورزان در استان هرات نیز با توجه به این اصل به کشت محصولات کم‌آب‌بر به ویژه زعفران پرداخته‌اند. علاوه بر این، بروز تغییرات اقلیمی از طریق افزایش دما و کاهش بارندگی بر نوع و الگوی کشت محصولات کشاورزی موثر بوده و یکی از دلایل توسعه کشت زعفران در افغانستان را می‌توان به این عامل نسبت داد.

وضعیت سیر انرژی

نوع عملیات، نهاده‌های مصرفی و مقدار انرژی مصرفی در زراعت زعفران طی سال اول و سال‌های دوم تا ششم در هرات در افغانستان به ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که نهاده‌های مورد استفاده در زراعت زعفران در استان هرات در افغانستان شامل نیروی انسانی (جهت عملیات مختلف از آماده-سازی زمین برای کاشت، داشت، برداشت گل و پرکنی)، سوخت، الکتریسته، کود دامی، کودها و سموم شیمیایی، آب و بنه مصرفی می‌باشد. به طوری‌که مجموع انرژی نیروی انسانی و نهاده‌های مصرفی در سال اول به ترتیب برابر با ۲۵۸۳/۲۸ مگاژول (معادل ۱/۴۴ درصد از کل انرژی ورودی) و ۷۸۱۷۶ مگاژول (معادل ۴۳/۵۲ درصد از کل انرژی ورودی) بود. در این میان، بنه مصرفی بیشترین درصد انرژی (۳۳/۵۷ درصد از کل انرژی ورودی) و مصرف قارچ‌کش کمترین مقدار (۰/۵۱ درصد از کل انرژی ورودی) را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). در حالی‌که بر اساس رتبه‌بندی، بیشترین انرژی‌های مصرفی طی شش سال زراعت زعفران به ترتیب مربوط به کودهای شیمیایی با ۴۳۸۴۱ مگاژول (معادل ۲۴/۴ درصد از کل انرژی ورودی)، آب با ۳۰۶۰۰ مگاژول (معادل ۱۷/۰۴ درصد از کل انرژی ورودی)، کود دامی با ۲۷۰۰۰ مگاژول (معادل ۱۵/۰۴ درصد از کل انرژی ورودی)، نیروی انسانی با ۱۲۳۶۳/۶۸ مگاژول (معادل ۶/۸۸ درصد از کل انرژی ورودی) بود. همچنین کمترین مقدار به الکتریسته برای خشک کردن با ۱۸۰۰ مگاژول (معادل ۱/۰۰ درصد از کل انرژی ورودی) و سوخت برای حمل و نقل ۲۸۱۵/۵ مگاژول (معادل ۱/۵۷ درصد از کل انرژی ورودی) اختصاص داشت (جدول ۵). در این راستا، نتایج مطالعه‌ای در ایران روی شاخص‌های انرژی در نظام تولید زعفران در ایران نشان داد که بیشترین سهم انرژی ورودی در نظام زعفران به ترتیب مربوط به بنه (۴۲/۸۲ درصد از کل انرژی ورودی)، الکتریسته برای پمپاژ آب (۳۸/۳۷ درصد از کل انرژی ورودی) و کود دامی (۷/۱۳ درصد از کل انرژی ورودی) بود. در حالی‌که کمترین انرژی ورودی به ترتیب به مصرف کود پتاسیم (۰/۱۸ درصد از کل انرژی ورودی)، علف‌کش (۰/۲۸ درصد از کل انرژی ورودی) کود فسفات (۰/۴۶ درصد از کل انرژی ورودی) و قارچ‌کش (۰/۴۷ درصد از کل انرژی ورودی) اختصاص یافت (Khorramdel et al., 2020).

در بررسی تغییرات مصرف انرژی در تولید محصولات مختلف در مجموعه کشت و صنعت امام خمینی طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۴۰۱ گزارش شد که میزان مصرف انرژی در مزارع محصولات مختلف شامل نیشکر (از ۱۳۱/۰۵ به ۱۶۱/۷۱ گیگاژول)، گندم (از ۳۰/۴۹ به ۳۸/۰۲ گیگاژول)، آفتابگردان (از ۲۰/۱۶ به ۸۲/۱۴ گیگاژول) و کلزا (از ۱۹/۴۴ به ۲۴/۸۶ گیگاژول) افزایش یافت. همچنین نهاده‌های پرمصرف در تولید این محصولات شامل الکتریسیته، سوخت دیزل و کود نیتروژن بودند (Kaab et al., 2023).

جدول ۴. نوع عملیات، نهاده‌های مصرفی و مقدار انرژی مصرفی در زراعت زعفران در سال اول در استان هرات افغانستان
Table 4- Type of operations performed, type of inputs, and amount of energy consumed in saffron cultivation in the first year in Herat Province, Afghanistan

عملیات Operation	نیروی کار Human labor (h. ha ⁻¹)	تکرار* Repetition*	انرژی معادل Energy equivalent (MJ. Unit ⁻¹)	انرژی مصرف شده Used energy (MJ. ha ⁻¹)	درصد از کل انرژی ورودی Percentage of the total input energy (%)
نیروی انسانی Human labor					
شخم Tillage	800	1	1.96	1568	0.87
پخش کود دامی Distributing of cow manure	100	1	1.96	196	0.11
حمل و نقل Transportation	18	1	1.96	35.28	0.02
کاشت Planting	160	1	1.96	313.6	0.17
وجین علف‌های هرز Weeding	200	1	1.96	392	0.22
آبیاری Irrigation	8	5	1.96	78.4	0.04
نهاده مصرفی Inputs					
مقدار مصرف Consumption					
بنه Corm	3000 kg. ha ⁻¹	1	20.10	60300	33.56
کود اوره Urea fertilizer	50 kg. ha ⁻¹	1	66.14	3307	1.84
کود فسفات آمونیم DAP fertilizer	100 kg. ha ⁻¹	1	12.44	1244	0.69
کود دامی Manure	15000 kg. ha ⁻¹	1	0.30	4500	2.51
قارچ کش Fungicide	5 kg. ha ⁻¹	1	181.90	909.5	0.51
آب آبیاری Irrigation water	1000 m ³ . ha ⁻¹	5	1.02	5100	2.84
سوخت Fuel	50 lit	1	56.31	2815.5	1.57

*تکرار: منظور تعداد دفعات انجام عملیات مورد نظر می‌باشد.

*Repetition: This refers to the number of times the desired operation is performed.

جدول ۵. نوع عملیات، نهاده‌های مصرفی و مقدار انرژی مصرفی در زراعت زعفران در سال‌های دوم تا ششم در استان هرات افغانستان

Table 5. Type of operations performed, type of inputs, and amount of energy consumed and produced in saffron cultivation in the second to sixth year in Herat Province, Afghanistan

عملیات Operations	نیروی کار Human labor (h. ha ⁻¹)	تکرار* Repetition*	انرژی معادل Energy equivalent (MJ. Unit ⁻¹)	انرژی مصرف شده Used energy (MJ. ha ⁻¹)	درصد از کل انرژی ورودی Percentage of the total input energy (%)
عملیات شخم Plowing	40	5	1.96	392	0.22
پخش کود دامی Spreading manure	100	5	1.96	980	0.55
حمل و نقل Transportation	18	5	1.96	176.4	0.09
برداشت گل زعفران Picking flowers	300	5	1.96	2940	1.64
جدا کردن کلاله Separating stigmas	300	5	1.96	2940	1.64
وجین علف هرز Weeding	200	5	1.96	1960	1.09
آبیاری Irrigation	40	5	1.96	392	0.22
نهاد مصرفی Type of inputs	میزان مصرف Consumption				
کود اوره Urea fertilizer	100 kg. ha ⁻¹	5	66.14	33070	18.41
کود فسفات آمونیم DAP fertilizer	100 kg. ha ⁻¹	5	12.44	6220	3.46
کود دامی Manure	15000 kg. ha ⁻¹	5	0.30	22500	12.53
آب آبیاری Irrigation water	5000 m ³	5	1.02	25500	14.19
الکتریسیته Electricity	100 kWha ⁻¹	5	3.60	1800	1.00
نهاد خروجی Type of outputs	وزن خشک Dry matter (Kg. ha ⁻¹)		انرژی ماده خشک Energy of dry matter (MJ)	انرژی کل Total Energy (MJ. ha ⁻¹)	
بنه Corm	1500	1	14.97	22455	
برگ Leaf	1400	1	17.4	24360	
کلاله Stigma	12	1	19.8	237.6	

*تکرار: منظور تعداد دفعات انجام عملیات مورد نظر تا پایان سال ششم می‌باشد.

*Repetition: This refers to the number of times the desired operation is performed until the end of the sixth year.

همچنین مطالعه روند مصرف انرژی در تولید غلات آبی (شامل گندم، جو، برنج و ذرت) در ایران طی سال‌های ۹۹-۱۳۷۹ نشان داد که مصرف انرژی تمامی نهاده‌ها بجز سموم شیمیایی در دوره مذکور افزایش یافت و

مصرف کودهای شیمیایی بیشترین سهم (۲۸/۳) از کل انرژی ورودی) را بخود اختصاص داد. سوخت مصرفی برای تراکتور و دیگر ماشین‌آلات و الکتریسیته جهت پمپاژ آب در مقام‌های بعدی قرار گرفتند (Hashemi et al., 2025).

بطور کلی، کشت زعفران در افغانستان بصورت کاملاً سنتی در زمین‌های کوچک صورت گرفته و کلیه عملیات شخم و آماده‌سازی زمین، حمل و پخش کودهای شیمیایی و حیوانی، حمل و کاشت بیه‌ها، ایجاد جوی و نهر جهت آبیاری و عملیات آبیاری، مدیریت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، برداشت و فرآوری گل و کلاله‌ها و همچنین برداشت بیه‌های دختری در سال آخر با استفاده از نیروی انسانی انجام می‌شود که بطور مجموع ۶/۸۸ درصد از کل انرژی ورودی را بخود اختصاص داد (جدول‌های ۴ و ۵). از طرفی، بر اساس بررسی‌های انجام شده مصرف الکتریسیته و سوخت در ایران جهت پمپاژ آب، سهم زیادی از انرژی مصرفی تولید محصولات کشاورزی را به خود اختصاص می‌دهد (Khorramdel et al., 2020; Hashemi et al., 2025)، در حالی‌که بدلیل گران بودن قیمت انرژی‌های سوخت و الکتریسیته در افغانستان سهم این انرژی‌ها در تولید زعفران نیز به حداقل مقدار (به ترتیب برابر با ۱/۵۷ و ۱ درصد از کل انرژی ورودی) کاهش یافت.

در افغانستان برای آبیاری زعفران که بصورت غرقابی صورت می‌گیرد، اکثراً از آب جاری استفاده می‌شود. همچنین معمولاً پنج نوبت آبیاری (بعد از کشت و همه ساله جهت سبز شدن، بعد از گلدهی، در صورت عدم بارندگی دو آبیاری در زمستان، آبیاری آخر با شروع زرد شدن برگ‌ها در فروردین ماه) برای زراعت این گیاه مورد نیاز است که میزان آب مصرفی در سال اول حدوداً معادل ۵۰۰۰ متر مکعب در هکتار می‌باشد. در ایران مقدار آب مورد نیاز زعفران را بیش از ۳۰۰۰ متر مکعب گزارش نموده اند (Koocheki, 2004; Mosafari, 2001; Gresta et al., 2008)، بنابراین چون در هرات

کشاورزان معمولاً از آب جاری استفاده می‌کنند و میزان دبی آب مشخص نیست لذا تعداد ۵ نوبت آبیاری جهت کشت زعفران با فرض ارتفاع ۱۰ سانتی متر آب روی زمین در یکسال معادل ۵۰۰۰ متر مکعب در هکتار در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است در برخی مناطق نیز جهت آبیاری از چاه‌های نیمه‌عمیق شخصی با نیروی خورشیدی استفاده می‌شود. به طور کلی مقدار آب آبیاری در زراعت زعفران در افغانستان، بعد از بیه و کودهای شیمیایی ۱۷/۰۴ درصد از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داد و در رتبه سوم قرار گرفت (جدول‌های ۴ و ۵).

مقایسه درصد انرژی مصرفی بیه در افغانستان (۳۳/۵۷ درصد از کل انرژی ورودی) و ایران (۴۲/۸۲ درصد از کل انرژی ورودی) بیانگر مقدار کمتر بیه در زمان کاشت و ضعف اقتصادی کشاورزان در کشور افغانستان می‌باشد. از طرف دیگر، مصرف بیش از دو برابر کودهای حیوانی (۱۵/۰۴ درصد از کل انرژی ورودی) در افغانستان در مقایسه با ایران که ۷/۱۳ درصد از کل انرژی ورودی می‌باشد (Khorramdel et al., 2020)، می‌تواند نشان‌دهنده مدیریت سنتی و اکولوژیک این محصول در کشور افغانستان باشد که البته می‌تواند در صورت پوسیده بودن کود آلی اثر مثبتی بر محتوی متابولیت‌های ثانویه داشته باشد.

در جدول ۶ شاخص‌ها و گروه‌بندی‌های مختلف انرژی به ازای هر هکتار نظام تولید زعفران طی شش سال در استان هرات در افغانستان نشان داده شده است.

همانطور که در جدول ۶ نشان داده شده است، سهم انرژی‌های مستقیم (شامل نیروی انسانی، سوخت، الکتریسیته و آب) و غیرمستقیم (شامل بذر و بیه، کود و مواد شیمیایی و ماشین‌آلات) در بوم‌نظام‌های تولید زعفران در افغانستان به ترتیب برابر با ۴۷۵۷۹/۱۸ و ۱۳۲۰۵۰/۵۲ مگاژول در هکتار محاسبه شد که به ترتیب شامل ۲۶/۴۹ و ۷۳/۵۱ درصد از کل انرژی ورودی بود.

جدول ۶. شاخص‌ها و گروه‌بندی‌های انرژی (به ازای هر هکتار) در نظام تولید زعفران طی شش سال در استان هرات در افغانستان

Table 6. Energy indices and types (per ha) in saffron production systems in Herat Province, Afghanistan

نوع انرژی Energy Type	واحد Unit	مقدار Quantity	درصد از کل انرژی ورودی Percentage of the total energy (%)
انرژی ورودی کل Total inputs energy	مگاژول بر هکتار MJ. ha ⁻¹	179629.7	-
انرژی خروجی کل Total outputs energy	مگاژول بر هکتار MJ. ha ⁻¹	47052.6	-
انرژی مستقیم* Direct energy*	مگاژول بر هکتار MJ. ha ⁻¹	47579.18	26.49
انرژی غیرمستقیم Indirect energy	مگاژول بر هکتار MJ. ha ⁻¹	132050.52	73.51
انرژی تجدیدپذیر** Renewable energy**	مگاژول بر هکتار MJ. ha ⁻¹	103263.68	57.49
انرژی تجدیدناپذیر Non-renewable energy	مگاژول بر هکتار MJ. ha ⁻¹	76366.02	42.51
کارایی مصرف انرژی (براساس کلاله+برگ+بنه) Energy use efficiency (based on stigma+ leaf+ corm)	-	0.26	-
کارایی مصرف انرژی (براساس کلاله) Energy use efficiency (based on stigma)	-	0.001	-
بهره‌وری انرژی (براساس کلاله) Energy productivity (based on stigma)	کیلوگرم بر مگاژول Kg. MJ ⁻¹	0.00007	-
انرژی مخصوص (براساس کلاله) Specific energy (based on stigma)	مگاژول بر کیلوگرم MJ. kg ⁻¹	14969.1	-
انرژی خالص Net energy	مگاژول بر کیلوگرم MJ. kg ⁻¹	-132577.1	-

* در نظام تولید، انرژی غیر مستقیم شامل انرژی نهفته در بذر، کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و قارچ‌کش‌های شیمیایی، ماشین آلات و انرژی غیرمستقیم شامل نیروی انسانی، سوخت، الکتریسیته و آب می باشد.

** انرژی غیرقابل تجدید شامل سوخت، الکتریسیته، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و قارچ‌کش‌های شیمیایی، کودهای شیمیایی و ماشین آلات و انرژی قابل تجدید شامل نیروی انسانی، بذر و آب می باشد.

*Indirect energy included energy embodied in grains, chemical fertilizers, herbicide, pesticide, fungicide and machinery while direct energy covered human labor, diesel, electricity and water used in the production systems.

**Non-renewable energy includes diesel, electricity, herbicide, pesticide, fungicide, chemical fertilizers and machinery, and renewable energy consists of human labor, grains and water.

فسیلی (تجدید ناپذیر) و بیشتر بودن سهم انرژی‌های تجدید پذیر (۵۷/۴۹ درصد از کل انرژی ورودی) در زراعت زعفران حاکی از پایداری نسبی سیستم تولید زعفران در استان هرات افغانستان می‌باشد.

تحقیقات نشان داده است که سهم بیشتر انرژی‌های تجدیدپذیر در بوم‌نظام زعفران بیانگر پایداری و بهره‌گیری بیشتر از اصول مدیریت پایدار در زراعت این محصول است که این موضوع مطابق با نظام تولید و مدیریت کم‌نهاد آن بر مبنای کشاورزی خانوادگی و معیشتی این محصول در استان خراسان می‌باشد (Khorramdel et al., 2018; Koocheki et al., 2017). با توجه به تاثیر بسزای انرژی در پایداری، بهبود و توسعه نظام‌های کشاورزی، به نظر می‌رسد که سهم بالای انرژی‌های تجدیدپذیر در بوم‌نظام‌های تولید

همچنین انرژی‌های تجدیدپذیر (شامل نیروی انسانی، بنه و آب) و تجدیدناپذیر (شامل دیزل، الکتریسیته، کودها و سموم شیمیایی) به ترتیب ۱۰۳۲۶۳/۶۸ و ۷۶۳۶۶/۰۲ مگاژول (به ترتیب برابر با ۵۷/۴۹ و ۴۲/۵۱ درصد از کل انرژی ورودی) محاسبه گردید (جدول ۶). سهم کمتر انرژی‌های مستقیم (۲۶ درصد از کل انرژی ورودی) در بوم‌نظام زراعی زعفران در افغانستان را می‌توان به پایین بودن سهم مصرف انرژی‌های مربوط به سوخت و الکتریسیته نسبت داد. همان‌طور که قبلاً نیز توضیح داده شد، در سیستم کشاورزی سنتی تولید زعفران در افغانستان، مصرف سوخت جهت تولید نیروی ماشین‌آلات به حداقل رسیده است. برای آبیاری نیز از آب‌های جاری و یا انرژی خورشیدی جهت پمپاژ آب از چاه استفاده می‌شود. بنابراین، کاهش مصرف انرژی‌های

بنابراین، نظام تولید زعفران در این کشور از پایداری نسبی مناسب با رعایت مصرف نهاده‌های شیمیایی و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و همچنین حفظ وضعیت اقتصادی خانوارهای روستایی برخوردار می‌باشد.

در این مطالعه، شاخص بهره‌وری انرژی برای زعفران در افغانستان $0/00007$ کیلوگرم به ازای مصرف هر مگاژول محاسبه شد. به عبارت دیگر، به ازای هر واحد انرژی $0/00007$ کیلوگرم زعفران محصول تولید می‌شود. همچنین مقدار انرژی مخصوص و انرژی خالص برای تولید این محصول $14969/1$ مگاژول بر کیلوگرم و $132577/1$ - مگاژول بر هکتار محاسبه شد (جدول ۶). بهره‌وری انرژی برای نظام‌های کشت زعفران و گندم به ترتیب $0/000019$ و $0/097$ کیلوگرم به ازای مصرف هر مگاژول گزارش شد (Khorramdel et al., 2020). این شاخص برای تولید گندم در شهرستان گرگان و مرودشت به ترتیب $0/125$ و $0/123$ (Shahraki et al., 2010) و برای مزارع سیب زمینی همدان بین $0/27$ و $0/32$ محاسبه گردید (Zangeneh et al., 2010). شاخص انرژی ویژه برای نظام‌های تولید زعفران و گندم در استان خراسان رضوی به ترتیب $5/51235$ و $10/29$ مگاژول به ازای هر کیلوگرام برآورد شد (Khorramdel et al., 2020). تحقیقات نشان داده که مقدار شاخص انرژی مخصوص نسبت به نوع گیاه و شرایط آب و هوایی بسیار متفاوت است، بطوری‌که مقدار آن در زراعت‌های گندم، پنبه، ذرت، کنجد، گوجه فرنگی و هندوانه در ترکیه به ترتیب $5/24$ ، $11/24$ ، $3/88$ ، $16/21$ ، $1/14$ و $0/97$ محاسبه گردید (Canakci et al., 2005). در بررسی روند مصرف و شاخص‌های انرژی در تولید غلات آبی طی دوره ۲۰ ساله (۹۹-۱۳۷۹) در ایران، میانگین کارایی انرژی ($0/134$ کیلو گرم بر مگاژول) محاسبه شد که نشان‌دهنده بهبود بهره‌وری انرژی (از $0/114$ به $0/162$ کیلوگرم بر مگاژول) می‌باشد. میانگین انرژی خالص طی دوره مورد بررسی برابر با $32/27$ درصد به ازای هر سال رشد داشته است (Hashemi et al., 2025).

چنانکه ملاحظه می‌شود، اختلاف نسبتاً زیادی بین مقدار شاخص‌های انرژی در نظام تولید زعفران با دیگر محصولات زراعی وجود دارد که دلیل این اختلاف را می‌توان به پایین بودن مقدار عملکرد اقتصادی زعفران

زعفران گام مهمی به سمت اهداف کشاورزی پایدار بوده و از این نظام می‌توان به عنوان الگویی پایدار جهت طراحی مجدد بوم‌نظام‌های زراعی فشرده و پر نهاده استفاده نمود (Khorramdel et al., 2020). علاوه بر این، گزارش شده است که تولید زعفران از دیدگاه بوم‌شناختی و از نظر مصرف انرژی پایدارتر از گندم است، زیرا زعفران در طول دوره رشد چندساله و طولانی‌تر خود در مقایسه با گیاه گندم، از منابع با دسترس‌پذیری بلندمدت‌تر و دارای اثرات زیست‌محیطی کمتر استفاده می‌کند (Abolhassani et al., 2020). نتایج این بررسی نیز در راستای تحقیقات فوق می‌باشد. کارایی مصرف انرژی زعفران بر اساس کلالة+برگ+بنه برابر با $0/26$ بوده و برای بخش اقتصادی (کلالة) برابر با $0/001$ محاسبه گردید (جدول ۶). این شاخص در مزارع زعفران در استان خراسان جنوبی به ترتیب $0/41$ و $0/008$ گزارش شده است (Shahraki et al., 2010). همچنین مقادیر کارایی مصرف انرژی برای گندم آبی بر اساس دانه+کاه و کلش و تنها بر اساس دانه (به ترتیب برابر با $2/17$ و $1/43$) و برای زعفران (به ترتیب برابر با $0/24$ و $0/004$) گزارش گردید (Khorramdel et al., 2020). افزایش کارایی بیشتر مصرف انرژی در مزارع زعفران در استان خراسان رضوی را می‌توان به استفاده بیشتر از کودها نسبت داد (Khorramdel et al., 2017). بعلاوه دامنه کارایی مصرف انرژی بر اساس دانه گندم آبی در شهرستان‌های گرگان $1/83$ و مرودشت $1/80$ (Kazemi & Zare, 2014)، ساوه از $0/6$ تا $1/17$ (Safa & Alipoor et al., 2002) و ری $2/63$ (al., 2014) گزارش شد.

به طور کلی، جهت افزایش کارایی مصرف انرژی دو راهکار کلی قابل تصور است: افزایش انرژی خروجی و کاهش انرژی ورودی (به بیان دیگر، کاهش منطقی مصرف نهاده‌ها). براین اساس، به نظر می‌رسد که پایین بودن کارایی مصرف انرژی در زراعت زعفران در استان هرات مربوط به تولید اندک کلالة خشک (2 تا $2/5$ کیلوگرم در هکتار) یعنی پایین بودن عملکرد اقتصادی زعفران می‌باشد که عملاً افزایش انرژی خروجی تا حدی امکان‌پذیر نمی‌باشد. از آنجا که تولید زعفران در افغانستان عمدتاً بصورت سنتی انجام می‌شود، کاهش انرژی‌های ورودی نیز بیشتر از این مقدار ممکن نیست.

(۲ تا ۲/۵ کیلوگرم در هکتار کلالة خشک) نسبت داد. به بیان دیگر، از آنجا که مقدار انرژی خروجی حاصل از تولید زعفران بسیار ناچیز است، مقدار انرژی خالص آن، منفی محاسبه شد (جدول ۶). این امر به دلیل بیشتر بودن سهم انرژی‌های ورودی نسبت به خروجی بوده که البته قسمت عمده آن مربوط به استفاده از نیروی انسانی و کودهای دامی در زراعت سنتی و کوچک-مقیاس این محصول در استان هرات می‌باشد. از طرف دیگر، مقدار انرژی خروجی کلالة زعفران نیز بسیار اندک می‌باشد. ولی از آنجا که ارزش اقتصادی هر کیلوگرم زعفران خشک در سال جاری حدود ۱۳۰۰ دلار می‌باشد عامل اصلی توسعه کشت زعفران در استان هرات را می‌توان به ارزش بالای اقتصادی و ارزآوری زعفران نسبت داد. بعلاوه در این راستا نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که مدیریت بوم‌نظام‌های زعفران در ایران عمدتاً بصورت کشاورزی خانوادگی بوده و بیشتر مراحل تولید آن از کاشت تا فراوری پس از برداشت به صورت سنتی و خانواده‌محور اجرا می‌گردد (Koocheki et al., 2017)، که این عامل نیز در توسعه زراعت زعفران در استان هرات نقش بسزای داشته است.

نتیجه‌گیری

زعفران یکی از عمده‌ترین گیاهان دارویی با ارزش اقتصادی بالا در زراعت افغانستان محسوب می‌شود که مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است. استان هرات عمده‌ترین مرکز تولید زعفران در این کشور بوده و بیش از ۹۵ درصد از کل تولید زعفران این کشور را بخود اختصاص داده است. اهمیت کشت زعفران در افغانستان از جنبه‌های مختلف نظیر نیاز آبی کم، درآمدزایی بیشتر نسبت به سایر محصولات، کشت خانوادگی و

اشتغال‌زایی برای روستاییان، عدم نیاز به ماشین‌آلات، جلوگیری از مهاجرت، بعنوان کشت جایگزین خشکساز و از لحاظ ارزآوری و توسعه صادرات غیرنفتی نیز حایز اهمیت بسیار زیادی می‌باشد. بیشترین درصد انرژی مصرفی در زراعت زعفران به ترتیب مربوط به کشت بنه، کودهای شیمیایی، آب آبیاری، کود دامی، نیروی انسانی، الکتریسیته و سوخت بود. همچنین انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر به ترتیب ۲۶/۴۹، ۷۳/۵۱، ۵۷/۴۹ و ۴۲/۵۱ درصد از کل انرژی ورودی در بوم‌نظام‌های تولید زعفران در افغانستان را به خود اختصاص دادند. سهم کمتر انرژی‌های مستقیم را می‌توان به پایین بودن مصرف سوخت و الکتریسیته نسبت داد. در مقابل، بیشتر بودن سهم انرژی‌های تجدیدپذیر حاکی از پایداری نسبی سیستم زراعت زعفران در استان هرات می‌باشد. اگرچه نسبت انرژی تولیدی به مصرفی در زراعت زعفران پایین است، ولی نتایج این تحقیق نشان داد که زعفران گیاهی است که تقریباً به صورت اکولوژیک و در زمین‌های با مساحت کم و بطور سنتی در استان هرات کشت می‌شود، این گیاه همچنین به دلیل ارزآوری نقش اقتصادی بالاتری نسبت به دیگر گیاهان در الگوی کشت منطقه داشته، باعث اشتغال‌زایی و بهبود معیشت روستاییان می‌گردد. به طور کلی، زراعت زعفران در استان هرات در افغانستان نیز با حداقل مصرف نهاده‌ها، ارزش اقتصادی بالا، دلیل صادرات و ارزآوری، نیاز آبی پایین و قابلیت سازگاری با اقلیم‌های خشک، یکی از گزینه‌های راهبردی برای ارتقاء کشاورزی پایدار در منطقه محسوب می‌شود و توسعه کشت این محصول گامی مهم در راستای بهبود اقتصاد خانواری روستایی، امنیت غذایی و پایداری محیط‌زیست می‌باشد.

منابع

- Abolhassani, L., Khorramdel, S., Reed, M. and Saghaian, S. (2020). Environmental-Economic Analysis of Saffron Production. In: M., (Eds.). Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 367-390, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818638-1.00023-X>
- Acaroglu, M., and Aksoy, A.S. (2005). The cultivation and energy balance of

- Miscanthus giganteus* production in Turkey. *Biomass Bioenergy*, 29, 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.01.002>
- Alipoor, A., Keshavarz-Afshar, R., Ghalegolab Behbahani, A., Karimi Nejad, M., and Mohammadi, V. (2014). Evaluation of energy flow in irrigated wheat agroecosystems. A case study: Shahr-e-Rey

- City. *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*. 23, 59-69. [in Persian].
- ASYB (Afghanistan Statistical Year Book). (2024). *Ministry of Agriculture, Irrigation and Livestock* (MAIL), Issue No. 42, pp. 321.
- Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., and Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya region, Turkey. *Energy Conversion and Management*. 46, 655-666.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.04.008>
- Cochran, W.G. (1977) Sampling Techniques. 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- CSO (Central Statistics Organization of Afghanistan). (2016). Available at Web site <https://cso.gov.af/index.php/page/economy-statistics/>.
- Demircan, V., Ekinci, K., Keener, H.M., Akbolat, D., and Ekinci, C. (2006). Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: A case study from Isparta province. *Energy Conversion and Management*. 47, 1761-1769.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.10.003>
- Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., and Gunduz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*. 32, 35-41.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.01.007>
- Esengun, K., Gündüz, O., and Erdal, G. (2007). Input-output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Conversion and Management*. 48 (2), 592-598.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.06.006>
- Fartout Enayat, F., Mousavinik, S.M., and Asgharipour, M.R. (2017). Evaluation of Energy Use Efficiency, Green House Gases Emission and Economic Analysis of Sorghum Production in Sistan. *Agricultural Science and Sustainable Production*. 27(3), 33-43. [in Persian].
- Feizi, H., Sahabi, H., and Karbasi, A. (2015). Saffron: An efficient crop production system in energy use in Iran. *Journal of Advanced Agriculture and Technology*. 2(1), 38-41. [in Persian].
- Guzmán, G.I., & de Molina, M.G. (2015). Efficiency in agrarian systems from an agroecological perspective. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 39(8), 924-952.
<https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1053587>
- Gresta, F., Lombardo, G.M., Siracusa, L. and Ruberto, G. (2008). Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems, A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 28: 95-112.
<https://doi.org/10.1051/agro:2007030>
- Hashemi, R., Moghaddasi, R., Kazemnejad, M., and Mohammadinejad, A. (2025). Investigating the Trend of Consumption and Calculating Energy Efficiency Indicators in Cereals Production (wheat, barley, rice and corn) during 2000-2020. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 255-265
<https://doi.org/10.22034/saps.2023.56810.3050>
- ITQIA (International Taste & Quality Institute award). (2023). in Brussels, Belgium
<https://cnudbiz.com/SaffronCertifications.pdf>, <https://www.taste-institute.com/en/awarded-products/product-details/9024640>
- Jami, M.Y., Koocheki, A.R, Nasiri Mahalati, M., Khorramdel, S. and Nazarian, R. (2025). Evaluation of Agrobiodiversity in Afghanistan; Species and Genetic Diversity of Field Crops. *Agricultural Science and Sustainable Production*. Vol 34, Issue 4, 27-43.
<https://doi.org/10.22034/saps.2023.57598.3079>
- Jami, M.Y., Koocheki, A.R, Nasiri Mahalati, M., Khorramdel, S. and Nazarian, R. (2024). Evaluation of the Diversity of Agroecosystems in Afghanistan. *Environmental Sciences*, 22(3):469-482.
<https://doi.org/10.48308/envs.2024.1359>
- Kaab, A. Ghasemi-Mobtaker, H. and Sharifi, M. (2023). A study of changes in energy consumption trend and environmental indicators in the production of agricultural crops using a life cycle assessment approach in the years 2018-2022. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 54 (3), 1-18.
<https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.364738.665522>
- Kazemi, H., and Zare, S. (2014). Investigation and comparison of energy flow in wheat fields of Gorgan and Marvdasht townships. *Cereal Researches*. 4(3), 211-227. [in Persian].
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22520163.1393.4.3.3.1>
- Khobbakht, M., Rahimi, R. and Karimzadeh Asl, K. (2024). Energy use pattern and sensitivity analysis of energy inputs for saffron production in Iran. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 40 (4), 855- 867. [in Persian].
<https://doi.org/10.22092/ijmapr.2024.363273.3363>
- Khorramdel, S. (2024). The effect of climate change and agro-ecological zoning on

- quality of saffron in Iran. Webinars series on Sustainability of *Crocus sativus* L. Cultivation in the World in the Era of Climatic Change. Organized by Ferdowsi University of Mashhad, Iran and Aristotle University of Thessaloniki, Greece.
- Khorramdel, S., Abolhassani, L., and Azam Rahmati, E. (2017). Environmental impacts assessment of saffron agroecosystems using life cycle assessment methodology: (Case study: Torbat-e Heydarieh and Ghaen counties). *Journal of Saffron Researches*. 4(2), 229-248. [in Persian]. <https://doi.org/10.22077/jsr.2017.522>
- Khorramdel, S., and Mirzaeian, A. (2025). Impact of climate change on saffron production in Iran: issues, challenges, and opportunities. *Journal of Saffron Research*, [in Persian]. <https://doi.org/10.22077/jsr.2025.9147.1269>
- Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., Latifi, H., and Farzaneh Belgerdi, M.R. (2020). Comparison between energy, environmental and economical indicators of irrigated wheat and saffron agroecosystems in Khorasan-e Razavi Province. *Journal of Saffron Research*. 8(1), 29-54. [in Persian]. <http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2020.2892.1116>
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Amin Ghafori, A. (2018). Economic evaluation of agroecosystem services of saffron in Khorasan Razavi province. *Saffron Agronomy and Technology*. 6(1), 89-73. [in Persian]. <https://doi.org/10.22048/jsat.2017.59190.1183>
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Moallem, F. (2022). Effect of agronomic management on flower and daughter yield of saffron (*Crocus sativus* L.) on-farm trials. *Saffron Agronomy and Technology*, 10(1), 169-182. [in Persian]. <https://doi.org/10.22077/JSR.2022.4866.1174>
- Koocheki, A., Karbasi, A.R., and Seyyedi, S.M. (2017). Some reasons for saffron yield loss over the last 30 years period. *Saffron Agronomy and Technology*. 5(2), 107-122. [in Persian].
- Koocheki, A., Alizadeh, A. and Ganjali, A., (2010). The effect of increasing temperature on the flowering behavior of saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 8(2): 324-335. [in Persian].
- Koocheki A., (2004) Indigenous knowledge in agriculture with particular reference to saffron production in Iran, *Acta Horticulture*. 650, 175-182. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.650.17>
- Koocheki, A.R., and Hosseini, M. (1994). Energy efficiency on Agroecosystem. *Ferdowsi University of Mashhad, Iran*. 317p. [in Persian].
- Mathew, B., (1999). Botany, taxonomy and cytology of *Crocus sativus* L. and its allies, pp. 1930. In: NEGBI M. (ed.) *Saffron: Crocus sativus* L. Harwood Academic Publishers, Amsterdam, The Netherlands, pp. 162.
- Mosafari H. (2001) Effect of different regimens of irrigation on saffron yield, M.S. thesis of irrigation and drainage, *Ferdowsi University of Mashhad, Iran*.
- Mosht-Afkan, M., Fallahi, H.R., Behdani, M.A., and Hedayatizad, M. (2021). Determining the energy equivalent of different organs of saffron. *6th National Conference on Saffron*. Gonabad, Iran [in Persian].
- Nassiri, S.M., and Singh, S. (2009). Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. *Applied Energy*. 86, 1320-1325. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.10.007>
- Nazarian R., Mahallati M.N., Sahabi H., and Feizi H. (2024). Comparison quality parameters of saffron (*Crocus sativus* L.) produced in Herat, Afghanistan and Torbat Heydarieh, Iran. In Firenze University Press Journals- *Advances in Horticultural Science*, 38(1): 75-81. <https://doi.org/10.36253/ahsc-14920>
- Nazarian, R., Sahabi, H., and Feizi, H. (2018). Influence of planting density on flower and corm yield in Spanish and Iranian saffron. *Journal of Medicinal and Spice Plants*, 22, 168-172. <https://www.researchgate.net/publication/332867198>
- Ozkan, B., Kurklu, A., and Akcaoz, H. (2004). An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: A case study for Antalya region of Turkey. *Biomass Bioenergy*. 26, 89-95. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00080-1)
- Rahimizadeh, M., Madani, H., Rezadoust, S., Mehraban, A., and Marjani, A. (2007). Analysis of energy in agroecosystems and methods of increasing energy efficiency. In: *The 6th National Energy Congress*. 12-13 June, 2007. From http://Iranenergy.org.ir/sixth/new3/final_schedule.pdf
- Rajabi, M.H., Soltani, A., Zeinali, E. and Soltani, E. (2012). Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production*. 19(3), 143-171. [in Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222050.1391.19.3.9.9>

- Rathke, G.W., and Diepenbrock, W. (2006). Energy balance of winter oil seed rape cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy*. 24, 35- 44.
- Rezadoust, S. (2001). Energy efficiency in agroecosystems. In: *The 3th National Energy Congress*, Iran. pp. 457 - 466. [in Persian].
- Sadeghi, Kh., Toulabi Nejad, M., and Ghanbari, S. (2018). Analyze the effects of saffron cultivation on sense of place among rural households (Case Study: District Roshkhar). *Geographical Planning of Space*. 8 (28): 51-66. [in Persian].
- Safa, M., and Tabatabaeefar, A. (2002). Energy consumption in wheat production in irrigated and dryland farming. *Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference*, 28-30 November, Wuxi, China. pp. 183.
- Sahabi, H., Feizi, H. and Karbasi, A. (2016). Is saffron more energy and economic efficient than wheat in crop rotation systems in northeast Iran. *Sustainable Production and Consumption*, 5: 29-35. [in Persian]. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.11.001>
- Shahraki, E. M., Jami Al-Ahmadi, M., and Behdani, M. A. (2010). Study of energy efficiency of saffron (*Crocus sativus* L.) in Southern Khorasan. *Journal of Agroecology*. Vol 2, Issue 1– No. 3, P: 55-62. <https://doi.org/10.22067/JAG.V2I1.7602>
- Shwoban, Sh., Dourandish, A. and Ghorbani, M. (2020). Investigating Afghan farmers' willingness to continue cultivation of Saffron (Case study: Herat Province). *Saffron Agronomy and Technology*. Vol. 8, No. 2, P: 277-293. [in Persian]. <https://doi.org/10.22048/jsat.2019.177614.1340>
- Singh, H., Singh, A.K., Kushwaha, H.L., and Singh, A. (2007). Energy consumption pattern of wheat production in India. *Energy*. 32, 1848-1854. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.03.001>
- Uzunoz, M., Akcay, Y. and Esengun, K. (2008). Energy input -output analysis of sunflower seed oil in Turkey. *Energy Sources*, 3: 215 – 223. <https://doi.org/10.15316/SJAFS.2020.188>.
- Yilmaz, I., Akcaoz, H., and Ozkan, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton production Turkey. *Renew. Energy*. 30, 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.06.001>
- Zahedi, M., Eshghizadeh, H.R., and Mondani, F. (2015). Energy efficiency and productivity in potato and sugar beet production systems in Isfahan province. *Journal Of Crop Production and Processing*. 5(17):181-191. [in Persian]. <https://doi.org/10.18869/ACADPUB.JCPP.5.17.181>
- Zangeneh, M., Omid, M., and Akram, A. (2010). A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy*. 35, 2927-2933. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.024>