J. Agric. Mech., 11 (1):1-12 (2026)

Journal of
Agricultural Mechanization

Online ISSN: 2717-4107
Journal homepage: https://jam.tabrizu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Energy Consumption in Corn Production in Tehran, Alborz, and Qazvin Provinces

Ahmad Sharifi Malvajerdi [1*], Adel Vahedi [1], Saye Bagher-Ol-Hashemi [1]

1- Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

ARTICLE INFO

***Keywords*:**
Corn,
Efficiency,
Energy,
Productivity

Received:
November 05, 2025

Revised:
May 11, 2026

Accepted:
May 11, 2026

***Corresponding Author**
ahmadsharifi47@yahoo.com

ABSTRACT

The optimum consumption of energy is one the key sustainable production factors of agricultural crops. Enhancement of production will be sustainable when the use of energy is on the optimum level. The objective of this study was to assess energy consumption of three strategic crops including wheat, corn and sugar beet in Tehran, Alborz and Ghazvin provinces. Eeleven farmers were interviewed face to face in each province in this study. Fuel consumption was measured for different agricultural operation. Results indicated that input energy of three provinces for corn was 164034.33 MJ ha^{-1}. The average of output energy for corn was 131041.83 MJ ha^{-1}. Maximum and minimum of consumed input energy in corn production was allocated to electricity with 81.28 % and labor with 0.10 % of the total input energy. Energy efficiency of corn obtained 0.80. Energy productivity of corn was determined 0.054 kg MJ^{-1}. Net energy was calculated -32992.51 MJ ha^{-1} and energy intensity of those crops was determined 18.4 MJ kg^{-1}.

Introduction

The agricultural sector, as the primary producer of the nation's food supply, is not only a major consumer of energy but also an important provider of energy resources. In addition to technical analyses, economic, energy, and environmental assessments are crucial components in evaluating agricultural projects. Agricultural production requires energy derived from various sources. The cultivation of agricultural products demands substantial amounts of human, animal, chemical, and fossil energy inputs. Therefore, energy plays a critical role in the development and efficiency of the agricultural sector. Energy index analysis is a key necessity in agriculture. Through analyzing energy consumption patterns, strategies can be proposed to optimize energy use, minimize unnecessary losses, and enhance productivity and profitability. Considering the diverse energy use areas within agriculture, effective energy management can significantly improve resource efficiency. The main stages of energy management include controlling energy consumption, investing in energy-saving technologies, and maintaining and preserving energy resources. The objective of this study was to evaluate the energy consumption associated with corn production in the provinces of Tehran, Alborz, and Qazvin.

Materials and Methods

In this study, face-to-face interviews were conducted with 11 corn producers in each province, and field observations were carried out to measure the amount of fuel consumption for various agricultural operations. Initially, a questionnaire was designed based on the opinions of agricultural experts from the Agricultural Jihad Organization and several leading farmers in the studied areas to obtain comprehensive data. The first two sections of the questionnaire contained general information about the farmer and the farm, such as total cultivated area, seed type, farming experience, land ownership, and agricultural machinery. Subsequent sections of the questionnaire covered all stages of corn production, including land preparation and tillage, planting, weeding, irrigation, pest control, fertilization, and

How to cite:
Sharifi Malvajerdi, A., Vahedi, A., and Ol-Hashemi, SB. (2026). *Energy Consumption in Corn Production in Tehran, Alborz, and Qazvin Provinces.* Journal of Agricultural Mechanization, 11 (1):1-12. https://doi.org/10.22034/jam.2026.70078.1344

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

harvesting operations. Each section gathered information on the quantity of inputs used, the methods and frequency of various agricultural activities, and data on input costs and revenues. The final part of the questionnaire included information related to additional activities such as field supervision, guarding, and other miscellaneous inputs. Moreover, data on the previous crop cultivated before corn were also collected. After designing and completing the questionnaires with farmers across the three provinces, the collected data were carefully evaluated and analyzed. During questionnaire design, special attention was given to the simplicity and clarity of questions. The questionnaire validation was further confirmed based on the opinions of university professors, agricultural experts, and results from a pilot test. A simple random sampling method was used, ensuring that the obtained results were reliable and generalizable to the entire population. To determine the total energy inputs used in corn production, the equivalent energy valuesof electricity, fuel, seed, machinery, human labor, fertilizers, and pesticides were calculated, and their shares in total energy consumption were determined.

Results and Discussion

The results indicated that in the studied provinces, the average total input energy for corn production was 164034.33 MJ ha^{-1}, while the average corn yield across Tehran, Alborz, and Qazvin provinces was 8,914.41 kg ha^{-1}. The total output energy obtained from corn production in these provinces was calculated as 131,041.83 MJ ha^{-1}. In comparison, previous studies have reported an average yield of 6,167 kg ha^{-1} for corn production. Among the input energy sources, electricity accounted for the highest share of total input energy, contributing 81.28%, while human labor energy had the lowest share with 0.10% of total input energy. Based on the calculated energy indices for corn production: Energy efficiency (energy ratio):0.80, Energy productivity:0.054 kg MJ^{-1}, Net energy:-32992.51 MJ ha^{-1}, Energy intensity:18.40 MJ kg^{-1}.

Conclusion

The results showed that the average total input energy for corn production in the provinces of Tehran, Alborz, and Qazvin was 164034.33 MJ ha^{-1}, while the average total output energy was 131,041.83 MJ ha^{-1}. The highest share of input energy consumptionwas related to electricity, with 133329.98 MJ ha^{-1}, accounting for 81.28%of total input energy. This was followed by nitrogen fertilizer, with 12,930.37 MJ ha^{-1}, representing 7.88%of total input energy. In contrast, human labor energyhad the lowest share, amounting to 171.3 MJ ha^{-1} (i.e., 0.10%of total input energy). The total direct and indirect energy inputsin corn production for the studied provinces were 142067.04 MJ $ha^{-1}$and 21,967.29 MJ ha^{-1}, respectively. Furthermore, renewable and non-renewable energy inputswere estimated at 136061.28 MJ $ha^{-1}$and 27,973.05 MJ ha^{-1}, respectively. The average energy indicesfor corn production in Tehran, Alborz, and Qazvin provinces were calculated as follows: Energy use efficiency (energy ratio):0.80, Energy productivity:0.054 kg MJ^{-1}, Net energy: -32992.51 MJ ha^{-1}, Energy intensity:18.40 MJ kg^{-1} Overall. these results indicate that electricity and nitrogen fertilizer are the most energy-demanding inputs in corn production, highlighting the potential for improving energy efficiency through better management of electrical and fertilizer use.

نشریه
مکانیزاسیون کشاورزی
شاپا الکترونیکی: 2717-4107
درگاه نشریه: https://jam.tabrizu.ac.ir



مقاله پژوهشی

انرژی مصرفی تولید محصول ذرت دانه‌ای در استان‌های تهران ، البرز و قزوین

احمد شریفی مالواجردی [1*]، عادل واحدی [1]، سایه باقرالهاشمی [1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱

۱- موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی- کرج- ایران

* مسئول مکاتبه E-mail: ahmadsharifi47@yahoo.com

چکیده

مصرف بهینه انرژی یکی از عوامل تولید پایدار محصولات کشاورزی است. افزایش تولید محصولات کشاورزی زمانی پایدار خواهد بود که انرژی مورد استفاده در حد بهینه باشد. هدف از انجام این مطالعه بررسی مصرف انرژی در تولید محصول ذرت دانه‌ای در سه استان تهران، البرز و قزوین بود. داده‌ها از ۱۱ بهره‌بردار در هر استان به صورت مصاحبه حضوری و عملیات میدانی جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که در استان‌های مورد مطالعه متوسط انرژی ورودی ذرت دانه‌ای برابر ۱۶۴۰۳۴/۳۳ مگاژول در هکتار و متوسط انرژی خروجی ذرت دانه‌ای برابر ۱۳۱۰۴۱/۸۳ مگاژول در هکتار است. در تولید ذرت دانه‌ای بیشترین و کمترین انرژی نهاده مصرفی به ترتیب به انرژی الکتریسیته با ۸۱/۲۸ درصد و انرژی نیروی انسانی با ۰/۱۰ درصد از کل انرژی‌های ورودی تعلق داشت. طبق محاسبات شاخص‌های مصرف انرژی در ذرت دانه‌ای، کارایی انرژی ۰/۸۰ ، بهره‌وری انرژی ۰/۰۵۴ کیلوگرم بر مگاژول، خالص انرژی ۳۲۹۹۲/۵۱- مگاژول بر هکتار و شدت انرژی ۱۸/۴۰ مگاژول بر کیلوگرم به دست آمد.

کلمات کلیدی: انرژی، بهره‌وری، ذرت دانه‌ای،کارایی

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

۱- مقدمه

انرژی یکی از عناصر کلیدی در نظام‌های تولیدی است که ارزیابی آن برای حرکت در مسیر تولید پایدار ضروری به شمار می‌آید (Kheiralipour, 2022). ارزیابی مصرف و کارایی انرژی نقشی مهم در بهبود جنبه‌های اقتصادی (Kazemi et al., 2023 ; Kheialipour, 2021) و زیست‌محیطی (Payandeh et al., 2017 ; Nejad, 2023 ; Ramedani, 2019 ; Hafdaoui, 2024) نظام‌های تولید دارد. در این زمینه، عملکرد و بهره‌وری انرژی از مباحث اساسی در سیستم‌های تولید و مصرف انرژی محسوب می‌شود (Mirzaei et al., 2023 ; Dekamin et al., 2022 ; Mussa, 2024). بررسی وضعیت انرژی از طریق محاسبه و تحلیل محتوا، شاخص‌ها و انواع انرژی، رویکردی نوین برای افزایش کارایی مصرف مواد و انرژی و بهبود عملکرد آن‌ها است (Molaei, 2008 ; Kheiralipour, 2021). همچنین، جریان مواد نیز از دیدگاه زیست‌محیطی اهمیت قابل‌توجهی دارد (Pourmehdi and Kheiralipour, 2008). به‌طور کلی، ارزیابی هم‌زمان انرژی و مواد می‌تولند از دیدگاه اقتصادی نیز مفید باشد، زیرا منجر به کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. افزایش بهره‌وری و بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش کشاورزی موجب کاهش مصرف مواد و انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌شود و در نتیجه دستیابی به تولید پایدار در کشاورزی را تسهیل می‌کند (Yuanand Peng, 2017 ; Kheiralipour , 2020). شاخص‌های متعددی برای ارزیابی جریان انرژی و مواد در نظام‌های تولید وجود دارد، از جمله نسبت ورودی به خروجی کل (Pourmehdi and Kheiralipour, 2008)، نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و سود خالص انرژی (Jekayinfa and Bamgboye, 2008). هدف از به‌کارگیری این شاخص‌ها، بررسی وضعیت مصرف و کارایی انرژی و مقایسه عملکرد سیستم‌های تولیدی مختلف است (Pourmehdi and Kheiralipour, 2024).

بر اساس آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ ، در استانهای مورد مطالعه عملکرد ذرت دانه‌ای از متوسط کل کشور بیشتر بوده است(Anon, 2025) .

از آنجایی که فعالیت اصلی بخش عمده‌ای از جوامع روستایی ایران، کشاورزی و تولید محصولات زراعی، باغی و دامی است، بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی در این جوامع، صرف امور کشاورزی می‌شود. بنابراین لازم است که به بررسی و تجزیه و تحلیل الگوی مصرف انرژی و کارایی آن در سامانه کشاورزی پرداخته شود (Zoghipour and Torkmani, 2007).

یکی از رویکردهای مناسب در جهت کاهش انرژی‌های ورودی و از سوی دیگر افزایش انرژی خروجی، بررسی و ارزیابی شاخص‌های به دست آمده از مطالعات منطقه‌ای می‌باشد. این که چه عواملی چگونه و به چه میزان بیشترین تاثیر را در مقدار این شاخص‌ها می‌گذارند در کنار بررسی امکان جایگزینی آن‌ها با سایر عوامل و با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی، در نهایت می‌تواند منجر به بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی گردد . (Witney, 1995)

از طرفی آنالیز مصرف انرژی می‌تواند نشان‌دهنده چگونگی کاهش انرژی ورودی به نظام تولیدی و افزایش کارایی انرژی باشد(Fluk and Baird, 1982; Panesar and Fluk, 1993; Aggarwal, 1995; Clements, 2005; Strapatsa et al., 2006)

بررسی منابع نشان داد با توجه به اهمیت موضوع مصرف انرژی در بخش کشاورزی، بررسی شاخص‌های مصرف انرژی در تولید ذرت دانه‌ای و ارائه راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی این تحقیق است. انجام شد.

۲- مواد و روش ها

به منظور جمع‌آوری اطلاعات از روش‌های مختلفی از جمله پرسش‌نامه، مطالعه اسنادی و کتابخانه‌ای و همچنین مصاحبه استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا پرسشنامه‌ای با توجه به نقطه نظرات کارشناسان جهاد کشاورزی و تعدادی از کشاورزان پیشرو منطقه معرفی شده توسط کارشناسان جهاد کشاورزی در بخش‌های مختلف برای دستیابی به اطلاعات تکمیل شد. در دو بخش ابتدایی پرسش‌نامه اطلاعات کلی مربوط به کشاورز و مزرعه بود. که اطلاعاتی مربوط به کل سطح زیرکشت، نوع بذر کشت شده، میزان تجربه، مالکیت زمین و ادوات و ... بود. در قسمت‌های بعدی هر یک از مراحل کاشت، وجین مزرعه، عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی زمین، آبیاری مزرعه، مبارزه با آفات، کودپاشی و عملیات برداشت به تفکیک در پرسش‌نامه گنجانده شد. در هر یک از بخش‌های یاد شده اطلاعاتی مربوط به میزان نهاده‌های مصرفی، نحوه انجام عملیات مختلف زراعی، تعداد دفعات انجام عملیات و اطلاعاتی در زمینه هزینه نهاده‌ها و درآمد به‌دست آمد. در قسمت انتهای نیز بخشی برای عملیاتی از جمله کارشناسی مزرعه و نگهبانی و سایر نهاده‌های مصرفی قرار داده شد. همچنین در قسمت بعد پرسش‌نامه اطلاعاتی مربوط به محصول کشت شده قبل از محصول اصلی مزرعه نیز اخذ شد. پس از طراحی پرسش‌نامه‌ها و تکمیل آنها با مراجعه حضوری و پرسش از کشاورزان مختلف در سطح استان، داده‌های جمع‌آوری شده مورد ارزیابی قرار گرفته شد.

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری ضریب قابلیت اعتماد وجود دارد که یکی از روش‌های محاسبه قابلیت پایایی، ضریب آلفای کرونباخ می‌باشد. ضریب آلفای کرونباخ برای محاسبه هماهنگی درونی ابزار اندازه‌گیری از جمله پرسش‌نامه‌ها یا ابزارهایی که خصیصه‌های مختلف را اندازه‌گیری می‌کند به‌کار می‌رود که برای

محاسبه آن ابتدا باید واریانس نمرات هر سوال پرسش‌نامه و واریانس کل آزمون را محاسبه کرد و سپس با استفاده از رابطه ۱ مقدار ضریب آن را محاسبه نمود (Sarmad et al., 1997).

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(1 - \frac{\sum s_i^2}{s_x^2}\right) \quad (1)$$

که در آن α ضریب آلفای کرونباخ، k تعداد سؤال‌های پرسش‌نامه، واریانس مربوط به سوال iام و s_x^2 واریانس کل آزمون می‌باشد.

منظور از روایی یا اعتبار که برای سنجش میزان اعتبار اجزاء ابزار اندازه‌گیری به کار می‌رود این است که محتوای ابزار اندازه‌گیری دقیقاً متغیرها و موضوع مورد مطالعه را بسنجد. برای جمع‌آوری اطلاعات در این مطالعه از ابزار پرسش‌نامه استفاده گردید که برای بررسی روایی پرسش‌نامه از روش روایی محتوایی استفاده شده است. بدین منظور در ابتدای طراحی پرسش‌نامه سعی شد به ساده‌ترین روش سوال‌ها طراحی گردد. همچنین روایی پرسش‌نامه با توجه به نظرات اساتید و کارشناسان و نتایج به‌دست آمده از پیش آزمون به‌دست آمد. جامعه آماری این تحقیق شامل کل بهره‌برداران ذرت کار استان‌های تهران، قزوین و البرز می‌باشد. در این مطالعه از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. نتایج این روش نمونه‌گیری با رعایت اصول نمونه‌گیری قابل اعتماد و قابل تعمیم به کل جامعه است. دلیل دیگر انتخاب این روش نمونه‌گیری، هماهنگی و تطابق آن با روش اتخاذ شده توسط مرکز آمار ایران و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی در آمارگیری کشور است. در این روش نمونه‌گیری احتمال انتخاب در هر مرحله برای کلیه واحدهای جامعه یکسان است.

در مرحله بعد تعداد نمونه باید تعیین شود یا به عبارتی باید تعیین کرد حجم و تعداد افراد نمونه چند نفر باشد تا بتوان با اطمینان خاطر نتایج حاصله و شاخص‌های محاسبه شده را به جامعه مورد مطالعه تعمیم داد. در این تحقیق برای برآورد حجم نمونه از روش‌های آماری استفاده شد؛ اما برای انجام آن نیاز به دانستن اطلاعات و پارامترهایی درباره جامعه مورد مطالعه بود. به عنوان مثال لازم بود وضعیت توزیع یک یا چند صفت یا متغیر مورد مطالعه در اختیار باشد. برای به دست آوردن حجم نمونه از رابطه ۲ استفاده شد (Snedecor and Cochran, 1989).

$$n = \frac{N(t.s)^2}{Nd^2 + (t.s)^2} \quad (2)$$

که در آن:

n، حجم نمونه (تعداد مزارع مورد مطالعه)؛ N، اندازه جامعه آماری؛ ضریب اطمینان قابل‌قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t استیودنت بدست می‌آید(۱/۹۶ در سطح اطمینان ۹۵٪)؛ S، برآورد انحراف معیار صفت مورد مطالعه؛ d، دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان، ۰/۵)

با استفاده از این روش حجم کل نمونهٔ مورد نیاز ۱۱ بهره بردار ذرت دانه‌ای در هر استان برآورد گردید.

۲-۱- محاسبه انرژی مصرفی

به منظور تعیین میزان انرژی به کار رفته در تولید محصولات انرژی معادل الکتریسیته، سوخت مصرفی، بذر، ماشین‌ها، نیروی انسانی، کود، سم و... محاسبه و سهم آن‌ها از کل انرژی مشخص شد. برای محاسبه هم‌ارز انرژی نهاده‌های ورودی و خروجی از ضرایب و هم‌ارزهایی در منابع موجود استفاده گردید (جدول ۱).

جدول ۱- هم‌ارز نهاده‌های ورودی و خروجی برای تولید ذرت دانه‌ای

Table 1. Input-output equivalents for grain corn production

نهاده/ ستانده Input/Output	واحد Unit	هم ارز انرژی (مگاژول بر واحد) Energy equivalent (MJ per unit)	منبع Source
نیروی انسانی	ساعت	۱/۹۶	Singh and Mittal, 1992
سوخت	لیتر	۴۷/۸	Kitani, 1999
ماشین	ساعت	۶۲/۷	Royan et al., 2012
کود شیمیایی			
کود نیتروژن	کیلوگرم	۷۸/۱	Nabavi-Pelesaraei et al., 2016
کود فسفات	کیلوگرم	۱۷/۴	Nabavi-Pelesaraei et al., 2016
کود پتاس	کیلوگرم	۱۳/۷	Nabavi-Pelesaraei et al., 2016
کود مایع	لیتر	۸۵	Vahedi, 2017
سموم شیمیایی			
علف‌کش تو فور دی	کیلوگرم	۸۵	Kitani, 1999
علف‌کش آترازین	کیلوگرم	۱۹۰	Kitani, 1999
حشره‌کش دیازینون	کیلوگرم	۱۰۱/۲	Rafiee et al., 2010
الکتریسیته	کیلو وات ساعت	۱۱/۹	Kitani, 1999
آب	لیتر	۱/۰۲	Nabavi-Pelesaraei et al., 2016
بذر هیبرید ذرت	کیلوگرم	۱۰۰	Kitani, 1999
ذرت	کیلوگرم	۱۴/۷	Banaeian and Zangeneh, 2011

۲-۲- روش محاسبه انواع انرژی‌ها

۲-۲-۱- انرژی سوخت مصرفی

در این تحقیق میزان مصرف سوخت در هکتار، بر اساس اطلاعات طبقه‌بندی شده‌ای که از طریق رانندگان و کشاورزان جمع‌آوری گردید، تعیین شد. پس از تعیین میزان سوخت مصرفی در هر عملیات و سپس با جمع آن‌ها، کل سوخت مصرفی در هکتار تعیین شد و با استفاده از جدول‌های موجود در منابع (Kitani, 1998) که معادل انرژی هر لیتر سوخت را بر حسب مگاژول بر لیتر ارائه داده‌اند و با استفاده از رابطه (۳) انرژی سوخت محاسبه شده است.

$$E_{fuel} = Q_{fuel} \times EI_{fuel} \qquad (۳)$$

که در آن:

E_{fuel}، انرژی سوخت (MJ/ha)؛ Q_{fuel}، مقدار سوخت مصرف شده (L/ha)؛ EI_{fuel} انرژی معادل هر واحد سوخت (MJ/L)

انرژی هر واحد سوخت گازوئیل معادل ۴۷/۸ مگاژول بر لیتر در نظر گرفته شده است . (Kitani, 1998)

۲-۲-۲- انرژی نیروی انسانی

موقعی که نیروی انسانی در عملیات تولید دخالت می‌کند، بایستی انرژی مصرفی از این طریق را محاسبه کرد. جهت محاسبه انرژی مصرفی نیروی انسانی، با توجه به اطلاعات گرفته شده از کشاورزان و رانندگان و اطلاعات درج شده در پرسش‌نامه، تعداد کارگر مورد نیاز در عملیات خاک‌ورزی (راننده)، کودپاشی، سم‌پاشی، وجین در دو مرحله، برداشت، حمل و نقل و غیره و همچنین زمان انجام هر عملیات توسط زارع و کارگر مزرعه مشخص گردید و سپس از طریق منابع و جداول، (Singh and Mittal, 1992)، هم ارز انرژی نیروی انسانی را در تعداد نفر- ساعت کارگر ضرب نموده و سپس با توجه به هشت ساعت کار روزانه برای هر نفر کارگر انرژی مصرفی برای نیروی انسانی بر حسب مگاژول در هکتار تعیین شد(رابطه۴).

$$E_{lab} = EI_{lab} \times t \qquad (۴)$$

که در آن:

E_{labor}، انرژی نیروی انسانی (مگاژول بر هکتار)؛ EI_{labor}، هم‌ارز انرژی نیروی انسانی (مگاژول بر ساعت)؛ t، میزان نیروی انسانی (هکتار بر ساعت) می‌باشد.

۲-۲-۳- انرژی معادل ساخت و استهلاک ماشین‌ها

برای محاسبه مقدار مصرف انرژی در هکتار مربوط به ساخت و استهلاک ماشین‌ها ابتدا ساعت‌های عمر مفید ماشین‌ها وزن ماشین مورد استفاده در کشاورزی و سطح متوسطی که در این مدت کار خواهد کرد تعیین شد. سپس با استفاده از رابطه (۵) که توسط (Singh, 2002)، پیشنهاد شده است، انرژی مربوط به ساخت و استهلاک ماشین‌ها محاسبه گردید.

$$E_{mech} = \frac{G \times I}{L * A} \qquad (۵)$$

در رابطه فوق Emech، انرژی صرف شده جهت تولید ماشین (MJ/ha)؛ I، هم ارز انرژی ماشین (کیلوگرم)؛ G، وزن ماشین(کیلوگرم)؛ L، تعداد سال‌های کاری و A سطح کار سالیانه(هکتار در سال) می‌باشد (Kitani, 1999).

انرژی بذر

انرژی بذر مصرفی از رابطه ۶ محاسبه شد.

$$E_s = W_s \times EI_s \qquad (۶)$$

که در آن:

E_s، انرژی بذر در هکتار (MJ/ha)؛ W_s، وزن بذر مصرفی در هکتار (kg/ha)؛ EI_s، هم‌ارز انرژی موجود در هر کیلوگرم بذر (MJ/kg).

۲-۲-۴- انرژی کودهای شیمیایی

بر اساس اطلاعات به دست آمده از کشاورزان، مقدار متوسط کودهای مصرف شده و نوع کود مصرفی در زراعت ذرت دانه‌ای مشخص شد و با توجه به درصد عناصر، مقدار وزنی چهار عنصر اصلی ازت، فسفر، پتاسیم و گوگرد به‌دست آمد. با توجه به رابطه ۷ هر یک از اعداد به‌دست آمده برای مقادیر وزنی در هم‌ارز انرژی ضرب گردید تا انرژی هر یک از کودهای شیمیایی مصرفی به‌دست آید.

برای کودهای دامی نیز مقدار متوسط کود مصرفی محاسبه و در هم ارز انرژی مربوطه ضرب گردید تا انرژی کود دامی مصرفی محاسبه گردد.

$$E_{fertilizer} = WF \times EI_{fertilizer} \qquad (۷)$$

که در آن:

$E_{fertilizer}$، انرژی کود (MJ/ha)؛ $EI_{fertilizer}$، هم‌ارز انرژی کود (MJ/kg)؛WF، وزن کود مصرفی (kg/ha)

۲-۲-۵- انرژی آفت‌کش‌های شیمیایی

برای به‌دست‌آوردن میزان انرژی آفت‌کش‌ها، آنها را به سه گروه علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها تقسیم کرده‌اند (Rafiei et al., 1999؛ Kitani, 1999) و هم‌ارزهای انرژی متناظر هر سه گروه تعیین شده است. در این مطالعه مقدار آفت‌کش‌های شیمیایی که مورد استفاده قرار گرفته‌اند، محاسبه شده و این مقادیر با توجه به رابطه ۸، در هم ارز انرژی خود ضرب گردید تا مقدار انرژی مصرفی آنها به‌دست آید.

$$E_{biocide} = WB \times EI_{biocide} \quad (۸)$$

که در آن:

$E_{biocide}$، انرژی آفت‌کش مصرفی (MJ/ha)؛ $EI_{biocide}$، هم‌ارز انرژی آفت‌کش (MJ/kg)؛ WB، وزن آفت‌کش مصرفی (kg/ha)

۲-۲-۶- انرژی لازم برای آبیاری

$$DE_{irr} = \frac{\gamma g H Q}{\varepsilon q} \quad (۹)$$

که در آن:

DE_{irr}، انرژی مستقیم (J/ha)؛ γ ، چگالی آب (1000 kg/m3)؛g، شتاب گرانش (m/s2)؛ Q، میزان کل آب مورد نیاز جهت محصول در یک فصل زراعی (m3/ha)؛ H، هد دینامیکی چاه (m)؛ ε_q ، بازدهی کل تبدیل انرژی و توان، که برای پمپ‌های برقی معمولاً برابر ۰/۲- ۰/۱۸ در نظر گرفته می‌شود (Ercolia et al., 1999).

انرژی غیرمستقیم شامل مواد خام، ساخت و انتقال کلیه عواملی که در آبیاری دخالت دارند همانند حفاری، پمپ و لوله‌گذاری، تأسیسات و سایر با توجه به طول عمر سیستم می‌گردد. از آنجا که تعیین دقیق این نوع از انرژی آبیاری با مشکل همراه است، معمولاً درصدی از انرژی مستقیم را برای آبیاری سطحی که برابر ۲۰-۱۵ درصد می‌باشد، در نظر می‌گیرند (Kitani, 1999).

۲-۲-۷- انرژی خروجی

انرژی خروجی مجموع محتوای انرژی محصولات تولید شده است. اما در محاسبات اقتصادی، محصول دارای ارزش اقتصادی را در نظر می‌گیرند که خود به هدف پژوهشگر بستگی دارد. انرژی خروجی محصولات مورد مطالعه، پس از تعیین میزان عملکرد محصول و حاصل ضرب عملکرد در هم‌ارز انرژی محصول (Hatirli et al, 2006)، محاسبه شد.

۲-۳- شاخص‌های مطالعات انرژی

برای استفاده از مطالعات انرژی در یک منطقه احتیاج به عوامل و شاخص‌های استاندارد انرژی می‌باشد.

- نسبت انرژی

عبارت از نسبت انرژی خروجی (ستاده‌ها) به انرژی ورودی (نهاده‌ها) است. این شاخص وضعیت نهاده انرژی نسبت به ستاده انرژی را مشخص می‌کند. اگرچه این شاخص برای تولیدات گیاهی و سوخت‌های بیوماس کاربری دارد، اما بیشتر برای محاسبه راندمان انرژی در مناطق است و کمتر به دلیل پیچیده بودن نظام مصرف انرژی در شرایط صنعتی کاربرد دارد (Vahedi, 2014).

- افزوده (بهره) خالص انرژی

طبق تعریف عبارت از مقدار کل انرژی تولیدی منهای انرژی ورودی است. این شاخص، میزان تفاوت را در هکتار مشخص می‌سازد. معمولاً هدف، رسیدن به بیشترین مقدار NEG است (Almasi, 2014).

- بهره‌وری انرژی

بهره‌وری انرژی شاخصی است که نشان می‌دهد در هر زمان برای هر نوع محصول مشخص در هر منطقه، به ازای هر واحد انرژی مصرفی، چه میزان تولید می‌شود و رابطه مستقیم با شاخص نسبت انرژی دارد. در یک سیستم کارآمد و مؤثر انرژی ورودی به ازای هر واحد محصول باید در کمترین حد ممکن قرار داشته باشد (Almasi, 2014).

- شدت انرژی

این شاخص عکس بهره‌وری انرژی بوده و بیان کننده انرژی صرف شده برای تولید هر واحد از محصول یا برابر با انرژی ورودی به جرم محصول است. برای مثال اگر شدت انرژی برابر ۲ مگاژول برکیلوگرم باشد، یعنی برای تولید هر کیلوگرم محصول ۲ مگاژول انرژی مصرف شده است (Almasi, 2014).

۳- نتایج و بحث

در جدول ۲ مقادیر نهاده‌های مصرفی و ستانده و همچنین مقادیر انرژی مصرفی نهاده‌های ورودی و انرژی ستانده در تولید ذرت دانه‌ای در سه استان تهران، البرز و قزوین نشان داده شده است. طبق نتایج بیشترین انرژی مصرفی نهاده‌ها در تولید ذرت دانه‌ای مربوط به انرژی مصرفی الکتریسیته با ۱۳۳۳۲۹/۹۸ مگاژول در هکتار و سپس کود نیتروژون با ۱۲۹۳۰/۳۷ مگاژول در هکتار بدست آمد. در تحقیق محمدی و میسمی (Mohammadi and Maysami, 2021) سهم الکتریسیته در تولید ذرت دانه‌ای در رتبه دوم بربرا با ۲۸ درصد بعد از کود ازته با اختلاف ۱ درصد قرار گرفته است. انرژی مصرفی نهاده سوخت و بذر با ۸۵۶۵/۷۶ و ۲۵۶۰ مگاژول در هکتار در مرتبه‌های بعد قرار گرفتند. کمترین انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید ذرت دلنه‌ای مربوط به انرژی نیروی انسانی با ۱۷۱/۳ مگاژول در هکتار تعیین شد. متوسط کل انرژی ورودی در تولید ذرت دانه‌ای سه استان تهران، البرز و قزوین ۷۱۰۳۹/۴۷ مگاژول در هکتار بدست آمد. بیشتر بودن سهم الکتریسیته در این تحقیق به دلیل پایین رفتن سطح آبهای زیرزمینی و عمیق‌تر شدن چاه‌ها و استفاده از الکتروپمپ برای پمپاژ آب آبیاری است و این موضوع نیز در بیشتر شدن انرژی مصرفی نسبت به سایر تحقیقات تاثیر گذاشته است. البته شایان ذکر است که در تحقیقات افضلی گروه و همکاران در استان کرمان سهم الکتریسیته در انرژی مصرفی تولید ذرت دانه ای بیشترین و با مقدار ۴۰ درصد بوده است (Afzali Grouh et al., 2021).

انرژی خروجی در کشت ذرت دانه‌ای از همان انرژی محصول اصلی (دانه) برآورد شد و از محاسبه انرژی محصول فرعی (ساقه) صرفنظر گردید؛ بنابراین بهره‌وری انرژی این محصول از تقسیم عملکرد محصول اصلی بر میزان انرژی ورودی به دست آمد. متوسط

عملکرد ذرت دانه‌ای در این سه استان ۸۹۱۴/۴۱ کیلوگرم در هکتار و کل انرژی خروجی در تولید ذرت دانه‌ای استان‌های تهران، البرز و قزوین ۱۳۱۰۴۱/۸۳ مگاژول در هکتار محاسبه شد (جدول ۲). متوسط عملکرد ذرت دانه‌ای در تحقیقات محمدی و میسمی (Mohammadi and Maysami, 2021) ۶۱۶۷ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- میانگین انرژی نهاده‌های مصرفی و ستانده در تولید ذرت دانه‌ای استان‌های تهران، البرز و قزوین

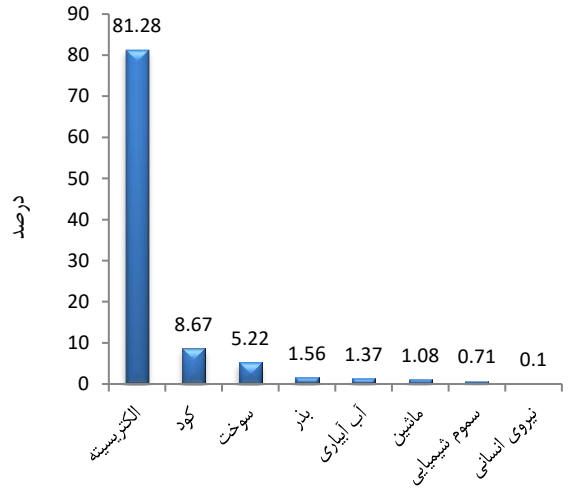
Table 2. Average energy inputs and outputs for grain corn production in Tehran, Alborz, and Qazvin provinces

نهاده Input	واحد Unit	مقدار نهاده مصرفی Quantity of input used	مقدار انرژی مصرفی Energy consumed (MJ/ha)	سهم انرژی مصرفی Energy share (٪)
انرژی ورودی				
نیروی انسانی	ساعت در هکتار	۸۷/۴	۱۷۱/۳۰	۰/۱۰
ماشین	ساعت در هکتار	۲۸/۳	۱۷۷۴/۴۱	۱/۰۸
سوخت	لیتر در هکتار	۱۷۹/۲	۸۵۶۵/۷۶	۵/۲۲
کود شیمیایی	کیلوگرم در هکتار			
نیتروژن		۱۹۵/۵	۱۲۹۳۰/۳۷	۷/۸۸
فسفات		۷۰/۴	۸۷۵/۷۸	۰/۵۳
پتاس		۱۳/۸	۱۸۹/۰۶	۰/۱۲
کود مایع	لیتر در هکتار	۲/۶۴	۲۲۴/۴	۰/۱۴
الکتریسیته	کیلو وات ساعت	۱۱۲۰۴/۲	۱۳۳۳۲۹/۹۸	۸۱/۲۸
سموم شیمیایی				
علف‌کش تو فوردی	لیتر در هکتار	۱/۵۱	۱۲۸/۳۵	۰/۰۸
علف‌کش آترازین	کیلوگرم در هکتار	۱/۳۳	۲۵۲/۷	۰/۱۵
حشره‌کش دیازینون و غیره	کیلوگرم در هکتار	۷/۸۲	۷۹۱/۳۸	۰/۴۸
آب آبیاری	مترمکعب در هکتار	۲۱۹۶/۹	۲۲۴۰/۸۴	۱/۳۷
بذر	کیلوگرم در هکتار	۲۵/۶	۲۵۶۰	۱/۵۶
کل انرژی ورودی			۱۶۴۰۳۴/۳۳	
انرژی خروجی				
ذرت دانه‌ای	کیلوگرم در هکتار	۸۹۱۴/۴۱	۱۳۱۰۴۱/۸۳	

شکل ۱ سهم انرژی نهاده‌های مصرفی تولید ذرت دانه‌ای را در سه استان تهران، البرز و قزوین نشان می‌دهد. بیشترین سهم از کل انرژی ورودی در تولید ذرت دانه‌ای را نهاده الکتریسیته، کود شیمیایی، سوخت و بذر به ترتیب با ۸۱/۲۸، ۸/۶۷، ۵/۲۲ و ۱/۵۶ درصد شامل می‌شوند. انرژی مصرفی نهاده‌های آب آبیاری و ماشین با ۱/۳۷ و ۱/۰۸ درصد به ترتیب در مرتبه‌های بعدی قرار گرفتند. کمترین سهم در انرژی نهاده‌های مصرفی ذرت دانه‌ای در سه استان تهران، البرز و قزوین، به انرژی مصرفی نهاده‌های سموم شیمیایی و نیروی انسانی به ترتیب با ۰/۷۱ و ۰/۱۰ درصد تعلق گرفت. مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه کود نیتروژن در رتبه دوم قرار گرفته است.

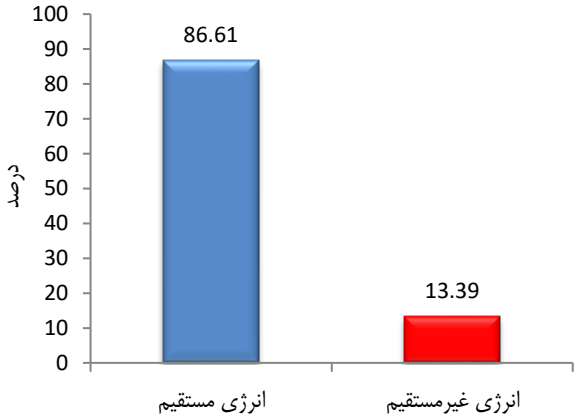
این موضوع نیز می‌تواند در مصرف بالای انرژی تاثیرگذار بوده و به تبع آن افزایش انتشار آلاینده های محیط زیستی و گازهای گلخانه ای را نیز به‌همراه داشته باشد.

سهم انرژی مستقیم و غیرمستقیم مصرفی در تولید ذرت دانه‌ای سه استان تهران، البرز و قزوین در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. مقدار انرژی مستقیم و غیرمستقیم مصرفی در تولید ذرت دانه‌ای برای سه استان مورد بررسی به ترتیب ۱۴۲۰۶۷/۰۴ و ۲۱۹۶۷/۲۹ مگاژول در هکتار بدست آمد. مقدار انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر برای سه استان مورد بررسی به ترتیب ۱۳۶۰۶۱/۲۸ و ۲۷۹۷۳/۰۵ مگاژول در هکتار بدست آمد.



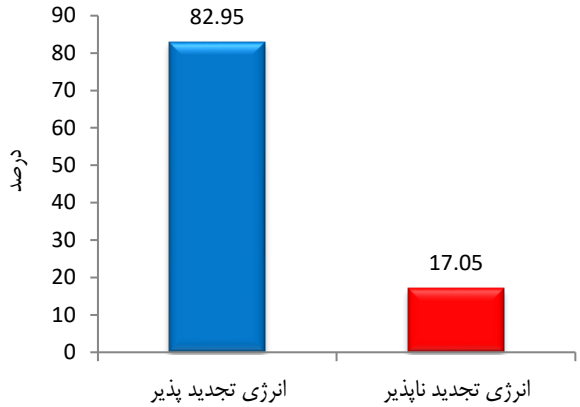
شکل ۱- سهم انرژی نهاده ذرت دانه‌ای در سه استان

Fig 1. Energy input shares for grain corn production in Tehran, Alborz, and Qazvin provinces



شکل ۲- سهم انواع انرژی‌های مستقیم و غیر مستقیم در تولید ذرت دانه‌ای سه استان

Fig 2. Shares of direct and indirect energy types for grain corn production in Tehran, Alborz, and Qazvin provinces



شکل ۳- سهم انواع انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید ذرت دانه‌ای سه استان

Fig 3. Renewable and non-renewable energy shares for grain corn production in the three provinces

شاخص‌های انرژی در تولید ذرت دانه‌ای سه استان تهران، البرز و قزوین در جدول ۳ تعیین شـــده اســـت. همانطور که در جدول ۳ مشـــخص شـــده کارایی انرژی تولید ذرت دلنه‌ای ۰/۸۰ می‌باشـــد. همچنین بهره‌وری انرژی که شاخصی مهم در مطالعات انرژی می‌باشد ۰/۰۵۴ کیلوگرم بر مگاژول بدســـت آمد. بعبارتی به‌ازای هر مگاژول انرژی مصـرفی، سیسـتم‌های زراعی تولید ذرت دانه‌ای در سـه اسـتان مورد مطالعه ۰/۰۵۴ کیلوگرم ذرت دانه‌ای تولید می‌شـود. بهشـتی‌تبار و همکـاران (Beheshti tabar et al, 2010) بـازده انرژی برای ذرت‌دانه‌ای را ۱/۸ گزارش کرده‌اند که از نتـایج این تحقیق بیشـــتر است.

شـــاخص خالص انرژی تولید ذرت دانه‌ای در ســـه اســـتان مورد مطالعه نشان می‌دهد که کل انرژی ستانده از سیستم‌های تولید ذرت دانه‌ای در این سه استان بطور متوسط ۳۲۹۹۲/۵۱- مگاژول در هکتار از کل انرژی ورودی بیشتر است.

شاخص شدت انرژی محاسبه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که به‌ازای هر کیلوگرم ذرت دانه‌ای تولیدی در سـه اسـتان تهران، البرز و قزوین ۱۸/۴۰ مگاژول انرژی مصـرف شـده اسـت. متوسـط شـاخص شـدت انرژی در تحقیقات محمدی و همکاران (Mohammadi and Maysami, 2021) ۹/۴۷ مگاژول بر کیلوگرم اندازه‌گیری شـد که از مقدار برآورد شده در این تحقیق بیشتر است.

جدول ۳- متوسط شاخص‌های انرژی ذرت دانه‌ای در سه استان تهران، البرز و قزوین

Table 3. Average energy indicators for grain corn production in Tehran, Alborz, and Qazvin provinces

	نسبت انرژی Energy output/input ratio	بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) Energy productivity (kg/MJ)	خالص انرژی (مگاژول بر هکتار) Net energy (MJ/ha)	شدت انرژی (مگاژول بر کیلوگرم) Energy intensity (MJ/kg)
متوسط سه استان	۰/۸۰	۰/۰۵۴	-۳۲۹۹۲/۵۱	۱۸/۴۰

۴- نتیجه‌گیری نهایی

نتایج زیر را ز این مطالعه می توان استخراج نمود:

متوسط کل انرژی ورودی در تولید ذرت دانه‌ای سه استان تهران، البرز و قزوین ۱۶۴۰۳۴/۳۳ مگاژول در هکتـار و متوســـط کـل انرژی خروجی ۱۳۱۰۴۱/۸۳ مگاژول در هکتار محاسبه شد.

بیشـــترین انرژی مصـــرفی نهاده‌ها در تولید ذرت دانه‌ای مربوط به انرژی مصرفی الکتریسیته با ۱۳۳۳۲۹/۹۸ مگاژول در هکتار، (۸۱/۲۸ درصـــد از کل انرژی ورودی) و ســـپس کود نیتروژون با ۱۲۹۳۰/۳۷ مگاژول در هکتار و سـهم ۷/۸۸ درصـدی از کل انرژی ورودی تعیین گردید. همچنین انرژی نیروی انســـانی با مقدار ۱۷۱/۳ مگاژول در هکتار و نســـبت ۰/۱۰ درصـــد از کل انرژی ورودی، کمترین انرژی مصرفی نهاده‌ها را به خود اختصاص داد.

مقدار انرژی مستقیم و غیرمستقیم مصرفی در تولید ذرت دانه‌ای برای سـه اسـتان مورد بررسـی به ترتیب ۱۴۲۰۶۷/۰۴ و ۲۱۹۶۷/۲۹ مگاژول در هکتار و مقدار انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر به ترتیب ۱۳۶۰۶۱/۲۸ و ۲۷۹۷۳/۰۵ مگاژول در هکتار بدست آمد.

متوسط شـاخص‌های کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، خالص انرژی و شـدت انرژی در تولید ذرت دانه‌ای سـه اسـتان تهران، البرز و قزوین به ترتیب ۰/۸۰، ۰/۰۵۴ کیلوگرم بر مگاژول ، ۳۲۹۹۲/۵۱- مگاژول بر هکتار و ۱۸/۴۰ مگاژول برکیلوگرم بدست آمد.

راهکـارهـایی برای بهبود کـاهش مصـــرف انرژی در تولیـد ذرت دانه‌ای به شرح زیر پیشنهاد می‌شود:

برای کاهش سهم نهاده‌های پر مصرف در تولید ذرت دانه‌ای مانند الکتریسیته در آبیاری و کودهای شیمیایی و نهایتا بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌توان از فناوری‌های دقیق مانند کشـاورزی دقیق (با تکیه بر فناوری اعمال نرخ متغیر کود) و کشاورزی هوشمند (آبیاری هوشمند) استفاده نمود.

به منظور بهینه سازی مصرف انرژی پیشنهاد می‌شود از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی استفاده شود و هم‌چنین نسبت به جایگزینی ماشین‌های نو با ماشین‌های کهنه و فرسوده اقدام نمود.

با توجه به بالا بودن مصرف سوخت‌های فسیلی جهت انجام عملیات آماده‌سازی مزرعه توسط ادوات و همچنین بالا بودن انرژی سوخت فسیلی نسبت به سایر نهاده‌ها، پیشنهاد می‌گردد تا با آموزش کشاورزان و به‌طور ویژه رانندگان ماشین‌های کشاورزی جهت استفاده صحیح از تراکتور و انتخاب متناسب با ادوات مورد استفاده و همچنین رسیدن به بهترین ترکیب از ادوات آماده‌سازی زمین، میزان مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش داد.

انرژی معادل کودهای شیمیایی به خصوص کود ازته بسیار بالا است. بنابراین انرژی زیادی صرف تولید این نوع کود می‌شود. استفاده کردن از کود حیوانی می‌تواند جایگزین خوبی برای کودهای شیمیایی باشد که هم می تواند انرژی مصرفی کودهای شیمیایی را کاهش داده و هم می تواند از تخریب ساختمان خاک جلوگیری کند.

منابع

Afzaligorouh, H., Azadshahraki, F., Shfie, L. (2021). *measurement of energy indices in corn production under different tillage systems*. Agricultural Mechanization and System Research. 22 (77), 51-68. (in Persian).

Aggarwal, G.C. (1995). *Fertilizer and irrigation management for energy conservation in crop production*. Energy. 20: 771-776.

https://doi.org/10.1016/0360-5442(95)00011-5

Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Fazli-Estabargh, M., Hosseinpour, R., Kazemian, A., and Rafiei, M. (2016). *Agricultural Statistics for the 2014-2015 Crop Year*. Volume 1: Crops. Information and Communication Technology Center, Deputy for Planning and Economy, Ministry of Agricultural Jihad. (In Persian).

Almasi, M., Kiani, Sh., and Loimi, N. (2014). *Fundamentals of Agricultural Mechanization* (5th ed.). Tehran: Gofteman Andisheh Moaser Publications. 260 p. (In Persian).

Anon. (2025). *Cropping year of 2023-2024. Statistics, Information Technology Center*, Deputy of Statistics, Ministry of Agricultural Jahad. (in Persian)

Banaeian, N. and Zangeneh, M. (2011) *Study on energy efficiency in corn production of Iran*. Energy. 36, 5394–5402.

Beheshti Tabar, I., Keyhani, A. R., and Rafiee, S. (2010). *Energy balance in Iran's agronomy*. Renewable and Sustanable Energy Reviews, 14(2): 849-855.

https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.024

Clements, D.R., Weise, S.F., Brown, R., Stonehouse, D.P., Hume, D.J., and Swanton, C.J. (2005*). Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management-systems.* Agric. Ecosyst. Environ. 52: 119-128.

https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)00546-Q

Dekamin, M., Kheiralipour, K., Keshavarz Afsha, R. (2022). *Energy, economic, and environmental assessment of coriander seed production using material flow cost accounting and life cycle assessment,* Environ. Sci. Pollut. Res. 29, 83469–83482.

https://doi.org/10.1007/s11356-022-21585-0

Ercolia, L., Mariottib, M., Masonib, A. and Bonaria, E. (1999). *Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of Miscanthus*, Journal of Field Crops Research, Vol. 63, pp. 68-81.

https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00022-2

Fluck, R.C., and Baird, C.D. (1982). *Agricultural Energetics*. AVI Publications, Westport, CT.

Hatirli, S. A., Ozkan, B. and Fert, C. (2006). *Energy inputs and crop yield elationship in greenhouse tomato production.* Renewable Energy, 31:427-438.

https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.04.007

Jekayinfa, S. O., Bamgboye, A.I. (2008). *Energy use analysis of selected palm-kernel oil mills in south western Nigeria*, Energy 33 81–90.

https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.08.008

Kazemi, N., Gholami Parashkoohi, M., Mohammadi, A., Mohammad Zamani, D. (2023). *Environmental life cycle assessment and energy-economic analysis in different cultivation of microalgae-based optimization method*, Results Eng. 101240

https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101240

Kheiralipour, K. (2021). *Environmental life cycle assessment of poultry production systems*, in: E. Jacob-Lopes, L.Q. Zepka, M.C. Depra (Eds.) , Interdisciplinary Applications of the Life Cycle Assessment Tool, Nova Science Publishers, New York, US, 2021, 1st Ed.

Kheiralipur, K., Sheikhi, N. (2021). *Material and energy flow in different bread baking types*, Environ. Dev. Sustain. 23, 10512–10527.

https://doi.org/10.1007/s10668-020-01069-2

Kheiralipour, K. (2022). *Sustainable Production: Definitions, Aspects, and Elements*, Nova Science Publishers, New York, US, 2022, 1st Edition.

https://doi.org/10.52305/PMEU7193

Kitani, O., CIGR, (1998). *Handbook of agricultural engineering* volume 5, Energy and Biomass Engineering,. ASAE publication.

Kitani, O., (1999). *CIGR handbook of agricultural engineering*, Volume 5: Energy and biomass engineering. ASAE Publications, St Joseph, MI.

Mirzaei, J.,Gholami Parashkoohi, M., Mohammad Zamani, D., Afshari, H. (2023). *Examining energy use efficiency and conducting an environmental life cycle assessment through the application of artificial intelligence: a case study on the production of cumin and fennel*, Results Eng. 20, 101522.

https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101522

Mohammadi, S., Maysami, M.A. (2021). *Energy Consumption Pattern for Corn Production in Iran.* Dev. Journal of Agricultral Mechanization. 6, 49–55. (in Persian)

DOI: https://dx.doi.org/10.22034/jam.2021.44786.1155

Molaei, K., Keyhani, A., Karimi, M., Kheiralipour, K., (2008). *Ghasemi Varnamkhasti, M. Energy ratio in dryland wheat-case study: eghlid Township, Iran*. J. Biosyst. Eng. 39 (1), 13–19..

https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084803.1387.39.1.15.0

Mussa, M.A., Aljubury I.M. Ali, W.S. Sarsam. (2024). *Experimental and analytical study of the energy and exergy performance for different evaporative pads in hot and dry climate*, Results Eng. 21, 101696.

https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101696

Nabavi-Pelesaraei, A., Hosseinzadeh Bandbafha, H., Qasemi-Kordkheili, P., Kouchaki-penchah, H. and Riahi-Dorcheh, F. (2016). *Applying optimization techniques to improve of energy efficiency and GHG (greenhouse gas) emissions of wheat production*. Energy. 103,672-678.

Nejad, M.S., Almassi, M. and Ghahderijani, M., (2023). *Life cycle energy and environmental impacts in sugarcane production: A case study of Amirkabir Sugarcane Agro-Industrial Company in Khuzestan province*. Results in Engineering, 20, p.101545.

https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101545

Panesar, B.S., and Fluck, R.C. (1993). *Energy productivity of a production system-analysis and measurement.* Agric. Syst. 43: 415-437.

https://doi.org/10.1016/0308-521X(93)90032-W

Payandeh, Z., Kheiralipour, K., Karimi, M. (2017). *Khoshnevisan, B. Joint data envelopment analysis and life cycle assessment for environmental impact reduction in broiler production systems*, Energy 127, 768–774.

https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.112

Pourmehdi, K., Kheiralipour, K. (2023). *Compression of input to total output index and environmental impacts of dryland and irrigated wheat production systems*, Ecol. Indicat. 148, 110048.

https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110048

Rafiei, M. (2016). *Agricultural Statistics for the 2015-2016 Crop Year*. Volume 1: Crop Products. Information and Communication Technology Center, Deputy for Planning and Economics, Ministry of Agricultural Jihad. (in persion)

Rafiee, S., Mousavi Avval, S.H., Mohammadi, A., (2010). *Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran*. Energy 35, 3301-3306.

Ramedani, Z., Alimohammadian, L., Kheiralipour, K., Delpisheh, P., Abbasi, Z. (2019). *Comparing energy state and environmental impacts in ostrich and chicken production systems*, Environ. Sci. Pollut. Res. 26, 35281.

https://doi.org/10.1007/s11356-019-05972-8

Ramedani, Z., Lotfi, M., Veisi, A., Kheiralipour, K. (2023). *Energy modeling of sunflower seed production systems*, in: 15th National Congress and the 1st International Congress of Biosystem Mechanical Engineering and Agricultural Mechanization, 20-22 Sep 2023. Tehran. Iran.

Royan, M., Khojastehpour, M., Emadi, B. and Mobtaker, H. G. (2012). *Investigation of energy inputs for peach production using sensitivity analysis in Iran*. Energy Conversion and Management, 64, 441-446.

Pourmehdi, K., Kheiralipour, K. (2024). *Net energy gain efficiency, a new indicator to analyze energy systems, case study: Comparing wheat production systems*. Results in Engineering. 22: 102211.

https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102211

Sarmad, Z., Bazargan Harandi, A. and Hejazi, A. (1997). *Research Methods in Behavioral Sciences*. Ageh Publishing Institute, Tehran. (In Persian).

Singh, S., Mittal, J.P., (1992). *Energy in production agriculture*. Mittal Publications, New Delhi, India.

Snedecor, G. W. and Cochran, W. G. (1989). *Statistical Methods*, 8th Edition, Iowa State University Press, *1989*.

Strapatsa, A.V., Nanos, G.D. and Tsatsarelis, C.A. (2006). *Energy flow for integrated apple production in Greece*. Agric. Ecosyst. Environ. 116: 176-180.

https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.02.003

Vahedi, A. (2014). *Study of energy consumption trends and economic analysis of rapeseed production in Tehran.* Agricultural Engineering Research Institute. Final report. Registration number 44831. (In Persian).

Vahedi, A. (2017). *Assessment and Determination of Energy Consumption per Unit of Strategic Crop Products (Irrigated Wheat, Corn and Sugarcane).* Agricultural Engineering Research Institute. Final research report, No. 52315.

Witney, B. (1995). *Choosing and using farm machines*. Land Technology Ltd, UK.

Yuan, S., Peng, S. (2017). *Trends in the economic return on energy use and energy use efficiency in China's crop production*, Renewable Sustainable Energy Rev. 70 836–844.

https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.264

Zoghipour, A. and Torkmani, J. (2007). *Analysis of the Energy Input-Output Pattern in the Agricultural Sector of Iran*. The Sixth Iranian Conference on Agricultural Economics. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).