



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. Ol-Hashemi, S. B. (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.2025.69177.1344>.



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 values of 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 $164034.33 \text{ MJ ha}^{-1}$, while the average corn yield across Tehran, Alborz, and Qazvin provinces was $8,914.41 \text{ kg ha}^{-1}$. The total output energy obtained from corn production in these provinces was calculated as $131,041.83 \text{ MJ ha}^{-1}$. In comparison, previous studies have reported an average yield of $6,167 \text{ kg ha}^{-1}$ 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: $-32992.51 \text{ MJ ha}^{-1}$, 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 $164034.33 \text{ MJ ha}^{-1}$, while the average total output energy was $131,041.83 \text{ MJ ha}^{-1}$. The highest share of input energy consumption was related to electricity, with $133329.98 \text{ MJ ha}^{-1}$, accounting for 81.28% of total input energy. This was followed by nitrogen fertilizer, with $12,930.37 \text{ MJ ha}^{-1}$, representing 7.88% of total input energy. In contrast, human labor energy had the lowest share, amounting to 171.3 MJ ha^{-1} (i.e., 0.10% of total input energy). The total direct and indirect energy inputs in corn production for the studied provinces were $142067.04 \text{ MJ ha}^{-1}$ and $21,967.29 \text{ MJ ha}^{-1}$, respectively. Furthermore, renewable and non-renewable energy inputs were estimated at $136061.28 \text{ MJ ha}^{-1}$ and $27,973.05 \text{ MJ ha}^{-1}$, respectively. The average energy indices for 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: $-32992.51 \text{ MJ ha}^{-1}$, 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.



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

احمد شریفی مالواجردی^{۱*}، عادل واحدی^۱، سایه باقراله‌اشمی^۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴

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

E-mail: ahmadsharifi47@yahoo.com

* مسئول مکاتبه

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

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 (Pournmehdi and Kheiralipour, 2008). به‌طور کلی، ارزیابی هم‌زمان انرژی و مواد می‌تواند 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 (Yuan and Peng, 2017 ; Kheiralipour, 2020). شاخص‌های متعددی برای ارزیابی جریان انرژی و مواد در نظام‌های تولید وجود دارد، از جمله نسبت ورودی به خروجی کل (Pournmehdi 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 (Pournmehdi 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 روش‌ها

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 انتهایی نیز بخشی برای عملیاتی از جمله کارشناسی مزرعه و نگرانی 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 کرونیخ می‌باشد. ضریب آلفای کرونیخ برای محاسبه هماهنگی درونی ابزار اندازه‌گیری از جمله پرسش‌نامه‌ها یا ابزارهایی که خصیصه‌های مختلف را اندازه‌گیری می‌کند به کار می‌رود که برای

با استفاده از این روش حجم کل نمونه 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

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

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 α 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 قابل قبول 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)

خواهد کرد تعیین شد. سپس با استفاده از رابطه (۵) که توسط (Singh, 2002)، پیشنهاد شده است، انرژی مربوط به ساخت و استهلاك ماشین‌ها محاسبه گردید.

$$E_{mech} = \frac{G \times I}{L \times A} \quad (5)$$

در رابطه فوق E_{mech} ، 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 سالانه (هکتار در سال) می‌باشد (Kitani, 1999).

انرژی بذر

انرژی بذر مصرفی از رابطه ۶ محاسبه شد.

$$E_s = W_s \times EI_s \quad (6)$$

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 به دست آمد. با توجه به رابطه ۷ هر یک از اعداد به دست آمده برای مقادیر وزنی در هم‌ارز انرژی ضرب گردید تا انرژی هر یک از کودهای شیمیایی مصرفی به دست 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.

$$E_{fertilizer} = WF \times EI_{fertilizer} \quad (7)$$

که در آن:

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

۲-۲-۵- انرژی آفت‌کش‌های شیمیایی

برای به دست آوردن 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 به دست آید.

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.

$$E_{fuel} = Q_{fuel} \times EI_{fuel} \quad (3)$$

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 (رابطه ۴).

$$E_{lab} = EI_{lab} \times t \quad (4)$$

که در آن:

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

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

برای محاسبه مقدار مصرف انرژی در هکتار مربوط به ساخت و استهلاك ماشین‌ها ابتدا ساعت‌های عمر مفید ماشین‌ها وزن ماشین مورد استفاده در کشاورزی و سطح متوسطی که در این مدت کار

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 نیتروژن 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 برابر 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 دانه‌ای 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 تأثیر گذاشته است. البته شایان ذکر است که در تحقیقات افزلی گروه و همکاران در استان کرمان سهم الکتریسیته در انرژی مصرفی تولید ذرت دانه‌ای 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

$$E_{biocide} = WB \times EI_{biocide} \quad (8)$$

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

$$DE_{irr} = \frac{\gamma HQ}{\epsilon q} \quad (9)$$

که در آن:

DE_{irr} ، انرژی مستقیم (J/ha)؛ γ ، چگالی آب (kg/m³ 1000)؛ g ، شتاب گرانش (m/s²)؛ Q، میزان کل آب مورد نیاز جهت محصول در یک فصل زراعی (m³/ha)؛ H، هد دینامیکی چاه (m)؛ ϵq ، 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

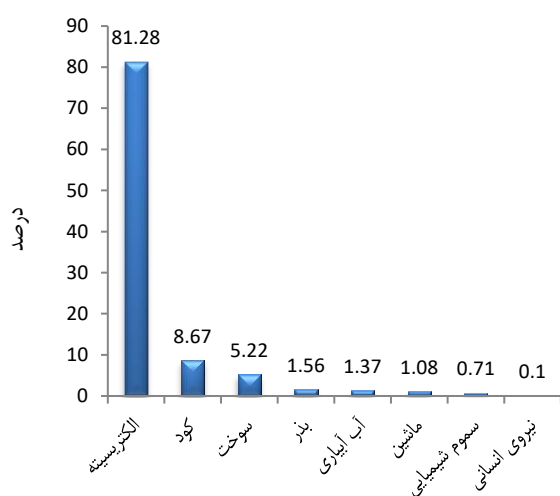
عبارت از نسبت انرژی خروجی (ستاده‌ها) به انرژی ورودی (نهاده‌ها) است. این شاخص وضعیت نهاده انرژی نسبت به ستاده انرژی را مشخص می‌کند. اگرچه این شاخص برای تولیدات گیاهی و سوخت‌های بیوماس کاربری دارد، اما بیشتر برای محاسبه راندمان انرژی در مناطق است و کمتر به دلیل پیچیده بودن نظام مصرف انرژی در شرایط صنعتی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

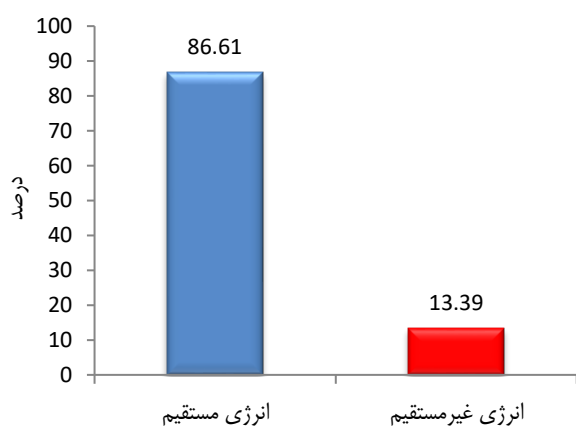
این موضوع نیز می‌تواند در مصرف بالای انرژی تأثیرگذار بوده و به تبع آن افزایش انتشار آلاینده های محیط زیستی و گازهای گلخانه ای را نیز به همراه داشته باشد.

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

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

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

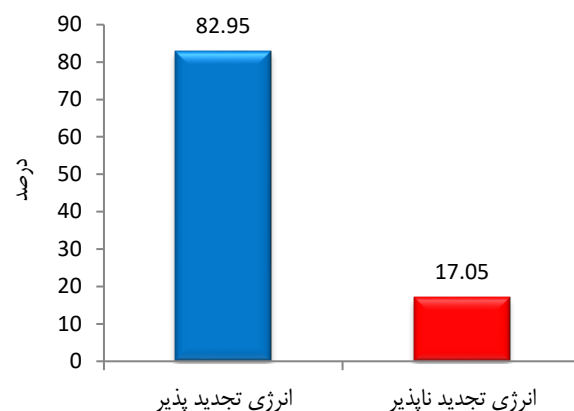
شکل ۱ سهم انرژی نهاده‌های مصرفی تولید ذرت دانه‌ای را در سه استان تهران، البرز و قزوین نشان می‌دهد. بیشترین سهم از کل انرژی ورودی در تولید ذرت دانه‌ای را نهاده الکتریسیته، کود شیمیایی، سوخت و بذر به ترتیب با ۸۱/۲۸، ۸/۶۷، ۵/۲۲ و ۱/۵۶ درصد شامل می‌شوند. انرژی مصرفی نهاده‌های آب آبیاری و ماشین با ۱/۳۷ و 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.

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

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



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

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

۴- نتیجه‌گیری نهایی

نتایج زیر را از این مطالعه می‌توان استخراج نمود:

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

بیشترین انرژی مصرفی نهاده‌ها در تولید ذرت دانه‌ای مربوط به انرژی مصرفی الکتریسیته با ۱۳۳۳۲۹/۹۸ مگاژول در هکتار، ۸۱/۲۸ درصد از کل انرژی ورودی و سپس کود نیتروژن با ۱۲۹۳۰/۳۷ مگاژول در هکتار و سهم ۷/۸۸ درصدی از کل انرژی ورودی تعیین گردید. همچنین انرژی نیروی انسانی با مقدار ۱۷۱/۳ مگاژول در هکتار و نسبت ۰/۱۰ درصد از کل انرژی ورودی، کمترین انرژی مصرفی نهاده‌ها را به خود اختصاص داد.

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 و مقدار انرژی تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر به ترتیب ۲۷۹۷۳/۰۵ و ۱۳۶۰۶۱/۲۸ مگاژول در هکتار بدست آمد.

متوسط شاخص‌های کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، خالص انرژی و شدت انرژی در تولید ذرت دانه‌ای سه استان تهران، البرز و قزوین به ترتیب ۰/۸۰، ۰/۰۵۴ کیلوگرم بر مگاژول، -۳۲۹۹۲/۵۱ مگاژول بر هکتار و ۱۸/۴۰ مگاژول بر کیلوگرم بدست آمد.

راهکارهایی برای بهبود کاهش مصرف انرژی در تولید 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 نهایتاً بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌توان از فناوری‌های دقیق مانند کشاورزی دقیق (با تکیه بر فناوری اعمال نرخ متغیر کود) و کشاورزی هوشمند (آبیاری هوشمند) استفاده نمود.

شاخص‌های انرژی در تولید ذرت دانه‌ای سه استان تهران، البرز و قزوین در جدول ۳ تعیین شده است. همانطور که در جدول ۳ مشخص شده کارایی انرژی تولید ذرت دانه‌ای ۰/۸۰ می‌باشد. همچنین بهره‌وری انرژی که شاخصی مهم در مطالعات انرژی می‌باشد ۰/۰۵۴ کیلوگرم بر مگاژول بدست آمد. عبارتی به‌ازای هر مگاژول انرژی مصرفی، سیستم‌های زراعی تولید ذرت دانه‌ای در سه استان مورد مطالعه ۰/۰۵۴ کیلوگرم ذرت دانه‌ای تولید می‌شود. بهشتی‌تبار و همکاران (Beheshti tabar et al, 2010) بازده انرژی برای ذرت‌دانه‌ای را ۱/۸ گزارش کرده‌اند که از نتایج این تحقیق بیشتر است.

شاخص خالص انرژی تولید ذرت دانه‌ای در سه استان 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 سه استان تهران، البرز و قزوین ۱۸/۴۰ مگاژول انرژی مصرف شده است. متوسط شاخص شدت انرژی در تحقیقات محمدی و همکاران (Mohammadi and Maysami, 2021) ۹/۴۷ مگاژول بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد که از مقدار برآورد شده در این تحقیق بیشتر است.

- 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 Sustainable 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](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](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>
- به منظور بهینه سازی مصرف انرژی پیشنهاد می شود از روش های خاک ورزی حفاظتی استفاده شود و همچنین نسبت به جایگزینی ماشین های نو با ماشین های کهنه و فرسوده اقدام نمود.
- با توجه به بالا بودن مصرف سوخت های فسیلی جهت انجام عملیات آماده سازی مزرعه توسط ادوات و همچنین بالا بودن انرژی سوخت فسیلی نسبت به سایر نهاده ها، پیشنهاد می گردد تا با آموزش کشاورزان و به طور ویژه رانندگان ماشین های کشاورزی جهت استفاده صحیح از تراکتور و انتخاب متناسب با ادوات مورد استفاده و همچنین رسیدن به بهترین ترکیب از ادوات آماده سازی زمین، میزان مصرف سوخت های فسیلی را کاهش داد.
- انرژی معادل کودهای شیمیایی به خصوص کود ازته بسیار بالا است. بنابراین انرژی زیادی صرف تولید این نوع کود می شود. استفاده کردن از کود حیوانی می تواند 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](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)

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

- 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).
- 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>