دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 255-265

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Investigating the Trend of Consumption and Calculating Energy Efficiency Indicators in Cereals Production (wheat, barley, rice and corn) during 2000-2020

Rose Hashemi[1], Reza Moghaddasi[1*], Mehdi Kazemnejad[1], Amir Mohammadinejad[1]

Received: 06 October 2023	Accepted: 08 February 2024

Department of Agricultural Economics, Extension and Education, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
*Corresponding Author: r.moghaddasi@srbiau.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Energy is considered as one of the most important inputs in the Iran's economy. Government has been providing subsidy for energy consumption for decades, and it puts high pressure on the public budget. The purpose of this study is to investigate the energy consumption trend and calculate the energy efficiency indicators in the cereals production (wheat, barley, rice and corn) in Iran.

Materials and Methods: The data used in the research is related to the period of 2000-2020, which was prepared from the Ministry of Agricultural Jihad and the Statistics Center of Iran. In this research, four important cereals products including wheat, barley, corn and rice were considered, which in total include about 70% of the total area of agricultural lands in Iran.

Results: According to the results, the energy of all inputs except chemical poisons has increased in the mentioned period. Chemical fertilizer showed a decreasing trend during the period of 2000-2010, but increased again during the period of 2010-2020. Chemical fertilizer has taken the largest share of the total input energy, so that its growth rate was 28.3% in the period of 2000-2020.

Conclusion: The trend of energy ratio (output to input) in the production of major cereal products during the studied period had an increasing trend so that the average growth of the total energy ratio in the mentioned products was 1.87% in the period under review. The regression coefficient of indirect energy and non-renewable energy was significant and positive at the level of 5%, which shows that the grain yield increases with the increase in the consumption of this type of energy. The results of this study showed that the cereal energy efficiency increased over time.

Keywords: Cereals, Input, Energy Consumption Efficiency, Iran

http://doi.org/10.22034/saps.2024.58735.3127

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۲۶۵-۲۵۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

بررسی روند مصرف و محاسبه شاخص‌های کارایی انرژی در تولید غلات آبی کشور (گندم، جو، برنج و ذرت) طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۷۹

رز هاشمی[۱]، رضا مقدسی[۱*]، مهدی کاظم نژاد[۱]، امیر محمدی نژاد[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۴	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۷

۱-گروه اقتصاد، ترویج و آموزش کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: r.moghaddasi@srbiau.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: انرژی از جمله مهمترین نهاده‌های تولیدی در اقتصاد ایران به شمار می‌رود. در طول دهه‌ها دولت برای مصرف این نهاده یارانه پرداخت نموده و این مساله فشار زیادی بر بودجه دولت وارد می‌آورد. هدف از این مطالعه بررسی روند مصرف و محاسبه شاخص‌های کارایی انرژی در تولید غلات آبی کشور (گندم، جو، برنج و ذرت) می‌باشد.

مواد و روش‌ها: داده های مورد استفاده در پژوهش مربوط به دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹ می باشد که از وزارت جهاد کشاورزی و مرکز آمار ایران تهیه شده است. در این تحقیق چهار محصول مهم غلات شامل گندم، جو، ذرت و برنج که در مجموع حدود ۷۰ درصد از مساحت کل اراضی زراعی ایران را شامل می شود، در نظر گرفته شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که انرژی تمامی نهاده‌ها به جز سموم شیمیایی در دوره مذکور افزایش یافته است. کود شیمیایی طی دوره ۱۳۸۹-۱۳۷۹ روند کاهشی را نشان داد، اما در دوره ۱۳۹۹-۱۳۸۹ مجدداً روند افزایشی داشت. کود شیمیایی بیشترین سهم از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است به طوری که نرخ رشد آن در بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۳۸۴، ۲۸/۳ درصد بود.

نتیجه گیری: روند نسبت انرژی (ستاده به نهاده) در تولید محصولات عمده غلات طی دوره مورد مطالعه روند افزایشی داشت. به طوری که میانگین رشد نسبت کل انرژی در محصولات مذکور در دوره مورد بررسی ۱/۸۷ درصد بود. ضریب رگرسیون انرژی غیرمستقیم و انرژی تجدیدناپذیر در سطح ۵ درصد معنی‌دار و مثبت شد که نشان می‌دهد با افزایش مصرف این نوع انرژی عملکرد دانه افزایش می یابد. نتایج این مطالعه نشان می دهد که بازده انرژی غلات کشور در طول زمان افزایش یافت.

واژه های کلیدی: غلات، نهاده، کارایی مصرف انرژی، ایران

مقدمه

انرژی یکی از مهم ترین نهاده‌های توسعه و یکی از عوامل اصلی تولید است. در کشاورزی، انرژی یک نهاده مهم تولید است و از این رو تامین به موقع، مطمئن و ارزان انرژی مورد نیاز، اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید محصولات کشاورزی و افزایش صادرات غیرنفتی کشور دارد. مصرف انرژی در کشاورزی به دلیل پاسخ به تقاضای فزاینده جمعیت، عرضه محدود زمین‌های زراعی و وجود استانداردهای بالای زندگی در حال افزایش است. تقاضای مداوم برای مواد غذایی، استفاده زیاد از

کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، ماشین‌آلات و منابع طبیعی را افزایش می‌دهد که مشکلاتی را برای سلامت انسان و محیط زیست ایجاد می کند. در حالی که مصرف انرژی کارآمد در کشاورزی مشکلات زیست محیطی را کاهش می‌دهد، از هدر رفتن منابع زیست محیطی جلوگیری می‌کند و سیستم کشاورزی پایدار را به عنوان یک سیستم تولید اقتصادی ارتقا می‌دهد. کل مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایران در سال ۲۰۱۸ بالغ بر ۴۵ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده است که نسبت به سال ۲۰۱۷ رشد ۴ درصدی را نشان می دهد (فائو ۲۰۱۹). اطلاعات در مورد چگونگی تجزیه و تحلیل انرژی این بخش و کمک به غنای روش و همچنین داده های مفید. گزارش‌های ارائه شده توسط بعضی محققین در ارتباط با استراتژی های توسعه ماشین آلات کشاورزی در زمینه بهبود کشاورزی و باغبانی و ابعاد مصرف انرژی ماشین آلات، افق جدیدی را در این زمینه گشوده است (یانگ و همکاران ۲۰۰۳). طی مطالعه‌ای به بررسی جریان انرژی در کشاورزی بنگلادش در دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۰ که انرژی مورد بررسی، انرژی انسانی و حیوانی، ماشین آلات، الکتریسیته، گازوییل، کود و سموم شیمیایی بود، پرداخته شد. نتایج مطالعه نشان داد که در طول دوره، نهاده و ستاده انرژی برای تولیدات کشاورزی به ترتیب از ۶/۴ به ۱۷/۳۲ گیگاژول بر هکتار و ۷۷/۲۲ به ۱۳۰/۵گیگاژول بر هکتار افزایش یافته است (عالم و همکاران ۲۰۰۵). نتایج مطالعه ترکمانی و ذوقی (۲۰۰۷) که الگوی مصرف انرژی و شاخص‌های کارایی انرژی را در طول دوره ۱۳۸۰-۱۳۵۰ در ۷۰ محصول کشاورزی و باغی و ۶ نهاده مهم مورد بررسی و تحلیل قرار داده است، نشان داد که کل نهاده انرژی از ۱۱۱/۵۰ مگاژول در سال ۵۰ به ۳۸۷/۵۰ مگاژول در سال ۸۰ و انرژی ستاده از ۱۲۲/۳۹ به ۴۱۵/۶۰ مگاژول افزایش یافته است. شاخص‌های کارایی انرژی شامل نسبت داده - ستاده انرژی، بهره وری انرژی و انرژی خالص در فاصله سال‌های میانی کاهش پیداکرده اند. محققینی شدت مصرف انرژی و کارایی انرژی در کشاورزی بنگلادش را بررسی کردند که البته هم انرژی مستقیم (انرژی تجاری) و هم انرژی غیرمستقیم (ظرفیت انسانی، حیوانی و کود) را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند (خسروزمان و همکاران ۲۰۱۰). بیان شده است که کل انرژی مورد نیاز برای تولید آفتابگردان در ترکیه ۱۸۹۳۱ مگاژول در هکتار است که بیشترین سهم را نهاده‌های کود شیمیایی (۵۱/۳ درصد) و سوخت‌های فسیلی (۲۸/۵ درصد) دارد (اوزونوز و همکاران ۲۰۰۸). مطالعه ای دیگر نشان داده است که کل انرژی مورد نیاز برای تولید آفتابگردان در یونان ۱۰۴۹۰ مگاژول در هکتار است که کودهای شیمیایی بیشترین سهم را دارند و بازده انرژی و انرژی خالص به ترتیب ۴/۵ درصد و ۳۶۸۷۰ مگاژول در هکتار محاسبه شده است (کالیوروسیس و همکاران ۲۰۰۲). دریک پژوهش رابطه بین انرژی ورودی و عملکرد محصول در تولید گوجه فرنگی گلخانه ای بررسی شد. این مطالعه به ارزیابی الگوهای مصرف انرژی و رابطه بین انرژی ورودی و عملکرد برای تولید گوجه فرنگی در آنتالیای ترکیه می‌پردازد. نتایج نشان داد که سوخت ۳۴/۳۵ درصد، کودهای شیمیایی ۲۷/۵۹ درصد، برق ۱۶/۰۱ درصد، سموم ۱۰/۱۹ درصد و نیروی انسانی ۸/۶۴ درصد بود (هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۶). محققین همچنین در ترکیه نشان دادند که تولید پنبه به طور کلی۴۹/۷۳ گیگ در هکتار انرژی مصرف می‌کند که۳۱/۱ درصد آن مربوط به مصرف گازوئیل و بقیه مربوط به استفاده از کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات است (ییلماز و همکاران ۲۰۰۵). در زمینه استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای بررسی کارایی واحدهای تولیدی، مطالعات زیادی انجام شده است. تمرکز داده‌ها معمولاً بر مصرف انرژی در کل بخش کشاورزی است و تفکیک دقیقی در مورد استفاده از انرژی در محصولات خاص یا بخش‌های کشاورزی به طور عمومی در دسترس نیست. علاوه بر این، این داده‌ها عموماً بر مصرف‌ها و نهاده‌های انرژی مستقیم در مزرعه متمرکز شده‌اند و شامل داده‌های ورودی انرژی غیرمستقیم نمی‌شوند. همزمان، یورواستات و آژانس‌های ملی تشخیص می‌دهند که داده‌های مصرف انرژی که وجود دارد، عموماً کیفیت پایین‌تری دارند و در مقایسه با سایر آمارهای بخش انرژی به دلیل خطاها و داده‌های ناقص، کمتر گزارش می‌شوند. به عنوان مثال، داده‌های مربوط به مصرف انرژی در بخش کشاورزی آلمان به دلیل داده های ناقص در آمار یورواستات گنجانده نشده است. مطالعاتی که بر انرژی مورد استفاده در تولید نهاده‌های کشاورزی غیرمستقیم تمرکز دارد نیز انجام شده است (روکیکی و همکاران ۲۰۲۱). مقاله آگویله‌را و همکاران، (۲۰۱۵) در مورد انرژی تجسم یافته در نهاده های کشاورزی یک نمای کلی از یافته های بسیاری از مطالعات ارائه می‌دهد. در حالی که تعدادی از مطالعات مصرف انرژی مورد نیاز

در فرآیندهای مختلف تولید کود را بررسی می‌کنند (دیمیتروژویچ و همکاران ۲۰۲۰)، نتایج ارائه شده در این یافته‌ها بسته به نوع کود و منشاء متفاوت است. بیان شده است که اثرات پویای استفاده و تولید آفت‌کش‌ها، عدم قطعیت نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های تولیدی کشاورزان دارد (اسکواس و همکاران ۲۰۱۲). مطالعه بکمن و همکاران (۲۰۱۳) در مورد مصرف انرژی در کشاورزی ایالات متحده تخمین می‌زند که مصرف مستقیم انرژی ۶۳ درصد از کل مصرف انرژی و مصرف غیرمستقیم انرژی ۳۷ درصد را تشکیل می دهد. انرژی بر تمام جنبه‌های اقتصاد توسعه و محیط‌ها مانند معیشت، دسترسی به آب و بهره وری کشاورزی تأثیر می‌گذارد (سانچز-اسکوبار و همکاران ۲۰۱۸). در نتیجه، چندین مطالعه اخیر استفاده از منابع انرژی سوخت ارزان‌تر و تجدیدپذیر را پیشنهاد کرده‌اند بروگادا و گود ۲۰۱۲ و یوسف و همکاران ۲۰۱۴) و همچنین سازگاری کودهای آلی یا تلفیق کودهای شیمیایی + آلی برای کاهش هزینه، حفظ بهره وری خاک و محیط زیست (کتکو و همکاران ۲۰۱۹ و گوئو و همکاران ۲۰۱۹ و کادام و همکاران ۲۰۲۰). محققان دریافتند که ورودی‌های کود و انرژی در مزارع یکپارچه ارگانیک ۳۴ تا ۵۳ درصد کمتر از مزارع معمولی در ۲۱ کشور اروپایی است (مادر و همکاران ۲۰۰۲). فرض بر این بود که انرژی فسیلی برای هدایت فعالیت‌هایی که شامل استفاده از ماشین آلات و حمل و نقل در مزارع ارگانیک است ضروری است به طوری که سرمایه‌گذاری هزینه کاهش می یابد در حالی که سود به طور پایدار افزایش می‌یابد (علی و همکاران ۲۰۱۹ و سانچز-اسکوبار و همکاران ۲۰۱۸ و گونزالس-گارسیا و همکاران ۲۰۱۰ و پروانکون و همکاران ۲۰۰۲). با این حال، در عوض، این تضمینی نیست، اکثر کشاورزان ارگانیک ممکن است هرگز شاهد صرفه جویی در هزینه‌ها در مقایسه با کشاورزان معمولی همسایه نباشند. پس از تولید، محصولات ارگانیک قیمت بیشتری دارند، با این حال، چنین بازارهایی در مراکز شهری وجود دارد. در این تحقیق به الگوی مصرف انرژی در محصولات مهم غلات در ایران پرداخته شده است و انرژی ورودی و خروجی محاسبه شد. انرژی خروجی انرژی خروجی محصولات مهم غلات (گندم، جو، برنج و ذرت) و انرژی ورودی انرژی ماشین، سوخت، نیروی کار، کود، آفت کش های شیمیایی، آبیاری و برق است.

مواد و روش‌ها

داده های مورد استفاده در پژوهش مربوط به دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹می‌باشد که از وزارت جهاد کشاورزی و مرکز آمار ایران تهیه شده است. در این تحقیق چهار محصول مهم غلات شامل گندم، جو، ذرت و برنج که در مجموع حدود ۷۰ درصد از مساحت کل اراضی زراعی ایران را شامل می شود، در نظر گرفته شد. نهاده های مهم در تولید محصولات مورد مطالعه شامل نیروی انسانی، انرژی مستقیم (برق، سوخت های فسیلی)، کودهای شیمیایی (شیمیایی و حیوانی)، بذر، آفت‌کش‌ها و آب بود. برای محاسبه انرژی ورودی معادل انرژی نیروی کار، برق، سوخت گازوئیل، بذر، آب و کود و سموم شیمیایی و برای محاسبه انرژی خروجی، میانگین عملکرد هر محصول در سال با توجه به معادل انرژی آنها در نظر گرفته شد. معادل انرژی مصرفی در محصولات طبق استاندارد ASAE گرفته شد. معادل انرژی ورودی و خروجی در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای محاسبه انرژی بذر، میانگین مصرف بذر در هکتار در انرژی معادل هر کیلوگرم بذر ضرب شده و انرژی ورودی به ازای هر کیلوگرم بذر مصرفی به دست آمد. برای اندازه گیری انرژی نیروی انسانی ابتدا داده‌ها از واحد در روز در هکتار به واحد در ساعت در هکتار (معادل ۸ ساعت کاری در روز) تبدیل شد. سپس با توجه به ارزش هر ساعت کار نیروی انسانی که به طور میانگین ۱/۹۶ مگاژول در ساعت بر ا ساس منابع موجود می‌باشد، مقدار انرژی نیروی انسانی در هر محصول به دست آمد. نیروی حیوانی به دلیل سهم اندک آن در کل حذف شد. انرژی ورودی درجه مکانیزاسیون عملیات های مختلف شامل خاک ورزی، کاشت، داشت و برداشت برای محصولات مختلف در سال های مورد مطالعه از آمار هزینه تولید وزارت جهاد کشاورزی استخراج شد. انرژی آب آبیاری مربوط به میزان انرژی مصرف شده برای پمپاژ آب و انتقال آن به محصول می باشد. با توجه به مقدار برق، به دلیل عدم وجود اطلاعات در مورد میزان برق مورد نیاز برای محصولات تولیدی، انرژی ورودی ناشی از مصرف برق از معادله زیر محاسبه شد (سینگ ۲۰۰۰).

جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی

ورودی	واحد	معادل انرژی	ورودی	واحد	معادل انرژی
نیروی کار	اسب بخار	۱/۹۶	حشره‌کش	کیلوگرم	۵۸
سوخت فسیلی	لیتر	۴۷/۳	قارچ‌کش	کیلوگرم	۱۱۵
آب آبیاری	متر مکعب	۱/۰۲	علف‌کش	کیلوگرم	۲۹۵
کود نیتروژن	کیلوگرم	۶۰/۱	بذر	کیلوگرم	۲۵
کود فسفاته	کیلوگرم	۱۷/۴	خروجی		
کود پتاسیم	کیلوگرم	۱۳/۷	غلات	کیلوگرم	۱۴/۷
کود آلی	کیلوگرم	۰/۳			

کیتانی ۱۹۹۹

$$DE = \frac{\gamma g H Q}{\varepsilon_q}$$

DE: انرژی مستقیم ($gj\ ha^{-1}$)

γ: شدت مصرف آب ($1000\ kg\ m^{-3}$)

g: نیروی جاذبه زمین ($9.8\ m\ s^{-2}$)

H: میانگین عمق پمپاژ آب (بر اساس گزارش وزارت نیرو ۸۰ متر در نظر گرفته شد).

Q: آب خالص مورد نیاز گیاه ($m^3\ ha^{-1}$) برای بدست آوردن این پارامتر از برنامه Cropwat استفاده شد.

بدین منظور برای هر محصول در هر سال با درج میزان تبخیر و تعرق و بارندگی کل کشور در برنامه مذکور، میزان نیاز آب خالص محاسبه شد. پس از محاسبه انرژی مربوط به نهاده های موثر در کل انرژی ورودی محصولات مورد مطالعه، شاخص های بهره وری انرژی، بازده انرژی و انرژی خالص برای محصولات در هر سال با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد:

$$\text{کارایی انرژی} = \frac{\text{(گیگا ژول در هکتار) انرژی خروجی}}{\text{(گیگا ژول در هکتار) انرژی ورودی}}$$

$$\text{بهره وری انرژی} = \frac{\text{(کیلوگرم در هکتار) مقدار خروجی}}{\text{(مگا ژول در هکتر) انرژی ورودی}}$$

$$\text{انرژی خالص} = \text{انرژی خروجی} - \text{انرژی ورودی}$$

به منظور بررسی رابطه بین مصرف انرژی و عملکرد محصولات منتخب (گندم، جو، ذرت و برنج)، از تابع تولید کاب داگلاس استفاده شد (قاسمی مبتکر و همکاران ۲۰۱۰ و هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۶). شکل خطی این تابع به صورت زیر است:

$$\ln Yi = a0+\alpha1\ln X1+\alpha2\ln X2+\alpha3\ln X3+\alpha4\ln X4+\alpha5\ln X5+\alpha6\ln X6+\alpha7T+e$$

در این معادله، عملکرد محصولات مورد مطالعه تابعی از انرژی انسان(x1) ، سوخت(x2) ، کود(x3) ، سموم دفع آفات(x4) ، آبیاری آب(x5) ، بذر (x6) و انرژی T به عنوان متغیری که تغییرات تکنولوژی را در طول زمان نشان می دهد. همچنین تأثیر انرژی‌های مستقیم (DE) و غیرمستقیم(IDE) ، انرژی‌های تجدیدپذیر (RE) و انرژی‌های تجدیدناپذیر (NRE) بر تولید محصولات مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. انرژی های مستقیم شامل سوخت، نیروی انسانی، آب آبیاری و انرژی های غیرمستقیم شامل بذر، کود و آفت کش های شیمیایی است. همچنین انرژی های تجدیدپذیر شامل آب آبیاری، نیروی انسانی و بذر و انرژی های تجدید ناپذیر شامل سوخت، کود و سموم شیمیایی است. برای این منظور از تابع کاب داگلاس به صورت زیر استفاده شد:

$$\ln Yi = a0+\beta1\ln DEt+\beta2\ln IDEt+\beta3T+e$$

$$\ln Yi = a0+\gamma1\ln REt+\gamma2\ln NREt+\gamma3T+e$$

برای برآورد معادلات اقتصادسنجی از روش حداقل مربعات معمولی و نرم افزار SHAZAM 10 استفاده شد.

نتایج و بحث

آنالیز انرژی ورودی و خروجی بر اساس هکتار انجام می شود. بر این اساس، پس از بررسی روند نهاده های انرژی در تولید محصولات زراعی در دوره مورد مطالعه، شاخص های انرژی این محصولات بیان شده و سپس تحلیل اقتصادسنجی مصرف انرژی در تولید محصولات ارائه شده است.

بررسی روند انرژی نهاده ها در تولید غلات

میانگین انرژی کل نهاده‌ها در تولید محصولات مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۲، انرژی تمامی نهاده‌ها به جز سموم شیمیایی در دوره مذکور افزایش یافته است. کود شیمیایی طی دوره ۱۳۸۹-۱۳۷۹ روند کاهشی را نشان داد، اما در دوره ۱۳۹۹-۱۳۸۹ مجدداً روند افزایشی داشت. کود شیمیایی بیشترین سهم از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است به طوری که نرخ رشد آن در بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹، ۲۸/۳ درصد بوده است. تأثیر کود شیمیایی بر افزایش عملکرد در واحد سطح یکی از مهمترین دلایل افزایش کل انرژی مصرفی در دوره مطالعه بوده است. میانگین انرژی کود شیمیایی گیاهان مورد مطالعه طی دوره مذکور ۱۷/۳۲ گیگ در هکتار بود که در مقایسه با میانگین انرژی کود شیمیایی در کشاورزی ایران با میانگین ۹/۸ گیگ در هکتار، بسیار بالاست (بهشتی تبار و همکاران ۲۰۱۰). این امر نشان دهنده مصرف زیاد کودهای شیمیایی به ویژه ازت در تولید غلات ایرانی است. پس از کود شیمیایی، انرژی سوخت بیشترین سهم را از کل انرژی ورودی دارد، به طوری که میانگین انرژی این نهاده در دوره مورد بررسی در تمامی محصولات زراعی ۸/۶۳ گیگا در هکتار برآورد شده است. لازم به ذکر است که عمده مصرف سوخت در محصولات گندم و جو مربوط به نیروی محرکه (انواع تراکتور) و ماشین های خودکششی (کمباین و ...) و در تولید برنج و ذرت مربوط به پمپاژ آب برای آبیاری است. کشت برنج در نقاط مختلف ایران به ویژه شمال کشور غرقابی است و نیاز به مصرف آب بالایی دارد و به همین دلیل برای پمپاژ آب برای تولید این محصول به انرژی بالایی نیاز دارد که منجر به افزایش مصرف سوخت می شود. از آنجایی که گیاه ذرت در اکثر نقاط کشور به ویژه خوزستان (با بیشترین سطح زیر کشت ذرت در کشور) در فصل تابستان کشت می شود، به آب آبیاری و سوخت زیادی نیاز دارد و در نتیجه مصرف سوخت بالایی در تولید این محصولات به دنبال دارد.

میانگین انرژی ورودی و خروجی (برحسب گیگاژول بر هکتار) محصولات مطالعه شده در دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۹

ورودی	۱۳۷۹	۱۳۸۴	۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	میانگین مجموع
نیروی کار	۰/۸۱	۰/۷۲	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۸۶
سوخت فسیلی	۸/۲۳	۸/۳۵	۸/۷۸	۸/۸۸	۸/۹۵	۰/۶۳
اب آبیاری	۴/۲۲	۴/۳۱	۴/۷۴	۴/۸۰	۴/۹۵	۴/۶۳
کود	۱۸/۱۴	۱۴/۳۴	۱۷/۷۸	۱۷/۹۵	۱۸/۴۰	۱۷/۳۲
آفتکش	۰/۹۸	۰/۶۰	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۷۲
بذر	۳/۳۱	۳/۹۱	۴/۹۰	۴/۹۵	۴/۹۷	۴/۳۹
خروجی (عملکرد)	۶/۰۲	۶۶/۷۴	۷۰/۰۲	۷۰/۲۳	۷۳/۴۴	۶۸/۰۹

بررسی روند شاخص های انرژی در غلات

روند نسبت انرژی (ستاده به نهاده) در تولید محصولات عمده غلات طی دوره مورد مطالعه روند

افزایشی داشته است. به طوری که میانگین رشد نسبت کل انرژی در محصولات مذکور در دوره مورد بررسی ۱/۸۷ درصد بوده است (جدول ۳). به طور کلی میانگین نسبت انرژی در تولید این محصولات طی دوره مورد بررسی برابر با ۱/۸۷ می باشد (جدول ۳). بهشتی تبار و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی روند مصرف انرژی در محصولات کشاورزی ایران طی دوره ۱۳۸۵-۱۳۶۹ نشان داد که روند بهره وری انرژی در بخش کشاورزی ایران طی دوره زمانی افزایش یافته است. از سوی دیگر، عالم و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای در مورد جریان انرژی در کشاورزی بنگلادش، طی دوره ۲۰۰۰ - ۱۹۸۰ نشان داد که بازده انرژی، یعنی نسبت داده های ورودی به انرژی در دوره مذکور، ۲۸ درصد کاهش یافته است که نشان می دهد انرژی ورودی سریعتر از انرژی خروجی و در نتیجه بازده انرژی کاهش یافته است. به طور کلی می توان گفت که نتایج این مطالعه نشان داده است که افزایش بازده انرژی نشان دهنده روند رشد بیشتر انرژی خروجی (به دلیل رشد عملکرد بالاتر در واحد سطح) نسبت به رشد انرژی ورودی است. روند تغییرات بازده انرژی و شاخص‌های انرژی خالص در تولید محصولات مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ در جدول ۴ نشان داده شده است. میانگین راندمان انرژی ۰/۱۳۴ کیلوگرم Mj-1بود، به این معنی که به ازای هرMj ، بازده ۰/۱۳۴ کیلوگرم افزایش می یابد. بهره وری انرژی از ۰/۱۱۴ به ۰/۱۶۲ کیلوگرم MJ-1 در طول دوره مورد بررسی افزایش یافته است. همچنین انرژی خالص در دوره مذکور روند افزایشی را نشان داده است به طوری که میانگین رشد انرژی خالص در هر سال در دوره مورد بررسی، ۳۲/۲۷ درصد رشد داشته است. مطالعه ۱۰۴ محصول کشاورزی در ترکیه طی سال های ۲۰۰۰-۱۹۷۵ نشان داد که شاخص های بهره وری انرژی و انرژی خالص در طول زمان کاهش یافته است که نشان دهنده این واقعیت است که الگوی مصرف انرژی در کشاورزی ترکیه ناکارآمد است و می تواند منجر به مسائل زیست محیطی شود (هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۶). نتایج این مطالعه نشان دهنده مصرف بهتر منابع تولیدی در بخش کشاورزی ایران در تولید محصولات مورد مطالعه در طول زمان است. مقایسه نسبت‌های انرژی در بخش کشاورزی ایران و سایر کشورها مانند ترکیه نشان می‌دهد که نسبت انرژی در ایران پایین است که عمدتاً به دلیل راندمان پایین کودهای شیمیایی و نهاده‌های آب آبیاری است. میانگین نهاده های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و غیرقابل تجدید انرژی طی دوره مورد مطالعه در جدول ۵ نشان داده شده است. انرژی‌های تجدید ناپذیر با حدود ۷۵ درصد بیشترین سهم را در تولید محصول طی سال های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ داشته‌اند که نشان می دهد وابستگی کشاورزی ایران در تولید محصولات زراعی به انرژی های تجدید ناپذیر انرژی های تجدیدپذیر با مقدار تقریبی ۲۹ درصد کمترین سهم را در تولید محصولات زراعی طی سال های ۱۳۹۹-۱۳۷۹ داشته‌اند. نتایج رگرسیونی اثر انرژی های نهاده های مختلف بر میانگین بازده محصولات در جدول ۵ نشان داده شده است. مقدار R برابر با ۰/۸۴ بود که نشان می دهد به طور متوسط ۸۴ درصد از تغییرات عملکرد محصول توسط متغیرهای موجود توجیه شده است. مدل. همچنین مقدار آزمون دوربین واتسون ۱/۹۹ است که نشان می دهد مشکل خودهمبستگی مولفه های اغتشاش در الگو وجود ندارد. ضریب متغیر انرژی مصرفی سموم شیمیایی و بذرها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی دار بود. نشان می دهد که افزایش مصرف این نوع انرژی باعث افزایش عملکرد محصولات غلات می شود. ضرایب رگرسیون آفت کش ها و انرژی بذر برای غلات در دوره مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۱/۱۵۷ و ۰/۰۹۵ می باشد. به این معنی که اولاً مصرف بذر و سموم دفع آفات در تولید محصولات باعث افزایش عملکرد آنها می شود و ثانیاً اگر مصرف سموم و بذر در تولید محصولات زراعی یک درصد افزایش یابد، تولید غلات به میزان ۱/۱۵۷ و ۰/۰۹۵ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین متغیر زمانی که بیانگر تغییرات تکنولوژیک در دوره مورد بررسی است، در سطح ۱ درصد معنادار بوده و تأثیر خود را بر بازدهی محصولات مورد بررسی نشان می دهد. محققان همچنین اثر قابل توجهی از آفت‌کش‌های شیمیایی بر عملکرد محصول در تجزیه و تحلیل اقتصاد سنجی انرژی بخش کشاورزی ترکیه گزارش کردند (هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۵ و یوناکیتان و همکاران ۲۰۱۰). جدول ۶ تأثیر انرژی های مستقیم و غیرمستقیم و همچنین انرژی های تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید بر میانگین عملکرد دانه را نشان می دهد. ضریب رگرسیون انرژی غیرمستقیم و انرژی تجدیدناپذیر در سطح ۵ درصد معنی دار شده است که نشان می دهد با

افزایش مصرف این نوع انرژی عملکرد دانه افزایش می یابد. محققین نشان دادند که افزایش مصرف انرژی های تجدید ناپذیر باعث افزایش تولید ۱۰۴ محصول کشاورزی در ترکیه می‌شود (هاتیرلی و همکاران ۲۰۰۶).

جدول ۳. میانگین شاخص های انرژی کل در تولید محصولات مطالعه شده در طول سالهای ۱۳۹۹-۱۳۷۹

ورودی	۱۳۷۹	۱۳۸۴	۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	مجموع میانگین
انرژی ورودی (گیگاژول بر هکتار)	۳۵/۷۲	۳۲/۲۲	۳۷/۵۸	۳۸/۹۲	۳۹/۲۸	۳۶/۷۴
انرژی ورودی (گیگاژول بر هکتار)	۶۰/۰۲	۶۶/۷۴	۷۰/۱۸	۷۲/۲۸	۷۵/۰۸	۶۸/۸۶
نسبت انرژی	۱/۶۸	۲/۰۷	۱/۸۶	۱/۸۵	۱/۹۱	۱/۸۷
کارایی انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)	۰/۱۱۴	۰/۱۴	۰/۱۳۰	۰/۱۲۹	۰/۱۶۲	۰/۱۳۴
انرژی خالص (گیگاژول)	۲۴/۳	۳۴/۵۱	۳۳/۲۴	۳۲/۶۰	۳۶/۷۱	۳۲/۲۷

جدول ۴. انواع مختلف انرژی در تولید محصولات مورد مطالعه (میانگین کل دوره)

انواع انرژی	میانگین ($Gj.ha^{-1}$)	(٪)
[a] انرژی مستقیم	۱۴/۲۰	۳۹/۴۰
[b] انرژی غیرمستقیم	۲۵/۹۵	۶۰/۶۰
[c] انرژی تجدیدپذیر	۹/۳۵	۲۸/۷۰
[d] انرژی تجدیدناپذیر	۲۸/۱۵	۷۵/۱۰

[a]سوخت، نیروی انسانی، آب آبیاری، [b] بذور، کودهای شیمیایی و آفتکش‌ها [C] سوخت، کودهای شیمیایی و آفتکش‌ها، [d] آب آبیاری، نیروی انسانی و بذور.

جدول ۵- نتایج تخمین اثر انرژی‌های ورودی بر عملکرد دانه

متغیر	ضریب	آزمون t
$lnYi = a0+\alpha1 ln X1+\alpha2 ln X2+\alpha3 ln X3+\alpha4 ln X4+\alpha5 ln X5+\alpha6 ln+X6+\alpha7 T +e$		
ضریب ثابت	۲/۸۳۴	۰/۲۳۸
سال	۰/۰۶۵	۲/۳۳**
نیروی انسانی	۱/۲۵۶	۰/۹۴۸
سوخت	-۰/۰۶۶	-۰/۲۰
کود	-۰/۰۲۸	۰/۴۵۰
آفتکشها	۱/۱۵۷	۱/۵۸*
آب آبیاری	۰/۰۰۰۰۶۹	۰/۵۳۴
بذر	۰/۰۹۵	۰/۴۶۰
آزمون دوربین-واتسون	۱/۹۹	
R^2	۰/۸۴	

** و * به ترتیب نشاندهنده معنی داری اثر در سطح احتمال یک درصد و ۵ درصد

جدول ۶- نتایج تخمین اثر انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر عملکرد دانه

متغیر	ضریب	آزمون t
$lnYi = a0+\beta1 ln DEt +\beta2 ln IDEt+\beta3 T +e$		
ضریب ثابت	۰/۶۴۴	۰/۳۷۵
سال	۰/۰۳۹	۲/۱۸۵**
انرژی مستقیم	۰/۰۴	۰/۳۸۵

انرژی غیرمستقیم	۰/۰۴۵	۱/۴۸*
آزمون دوربین-واتسون	۱/۸۹	
R^2	۱/۸۲	
$lnYi = a0+\gamma1 ln\ REt + \gamma2 ln\ NREt+\gamma3T + e$		
بذر	۰/۴۵۷	۰/۴۱۵
آزمون دوربین-واتسون	۰/۰۴۴	۲/۰۴۴**
انرژی تجدیدپذیر	۰/۰۰۶	۱/۳۳۵*
انرژی تجدیدناپذیر	۰/۰۵۲	۰/۰۴۵
آزمون دوربین-واتسون	۱/۸۸	
R^2	۰/۸۴	

**** و * به ترتیب نشاندهنده معنی داری اثر در سطح احتمال یک درصد و ۵ درصد**

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان می دهد که بازده انرژی غلات کشور در طول زمان افزایش یافته است و ذکر این نکته ضروری است که این افزایش راندمان با افزایش انرژی ورودی مانند کودها و سموم شیمیایی همراه بوده است که نشان دهنده وابستگی فزاینده است. اکوسیستم های موجود در منابع تجدید ناپذیر هستند. بهره وری انرژی در تولید محصولات مهم غلات در ایران کمتر از سایر کشورها بوده است که می توان به قیمت پایین سوخت، یارانه کودهای شیمیایی و نقش کم ترویج و آموزش کشاورزی در آموزش استفاده صحیح از منابع موجود اشاره کرد. از این رو، نیاز به تغییر اکوسیستم سیستم‌های کشاورزی به سمت کشاورزی پایدار برای استفاده بهینه از منابع تولید و کاهش نهاده های انرژی (به ویژه نهاده‌های پرمصرف مانند کودهای شیمیایی و سوخت) وجود دارد. بهره‌گیری از منابع تجدیدشونده برای‌کاهش مقدار استفاده از انرژی‌های صنعتی و استفاده از سیستم‌های آبیاری کارآمد از راههای عمده در تقلیل مصرف منابع تجدیدناپذیر و افزایش کارایی انرژی در تولید غلات در کشور می‌باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت محترم برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی و ریاست محترم موسسه تحقیقات غلات کشور به خاطر در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم، کمال سپاسگزاری به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Aguilera E, Guzmán GI, Infante-Amate J, Soto D, García-Ruiz R, Herrera A. 2015. Embodied energy in agricultural inputs. Incorporating a historical perspective. Bioscience, 63: 263-273.

Alam MS, Alam MR and Islam KK. 2005. Energy flow in agriculture: Bangladesh. American Journal of Environmental Science, 3: 213-220. https://doi.org/10.3844/ajessp.2005.213.220

Ali M, Geng Y, Robins D, Cooper D, Roberts W. 2019. Impact assessment of energy utilization in agriculture for India and Pakistan. Sci. Total Environment, 648: 1520–1526. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.265.

Beheshti Tabar I, Keyhani A and Rafiee S. 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990–2006). Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14:849– 55. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.024.

Borugadda VB and Goud VV. 2012. Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities. Renew. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16: 4763–4784. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.010.

Dimitrijević A M, Gavrilović S, Ivanović Z, Mileusnić R, Miodragović S and Todorović S .2020. Energy use and economic analysis of fertilizer use in wheat and sugar beet production in Serbia. Energies, 13: 122-131. https://doi.org/10.3390/en13092361.

Food and Agriculture Organization. 2019. Biodiversity: Agricultural biodiversity in FAO. Retrieved January 12, 2005, from http://www.fao.org/biodiversity.

Ghasemi Mobtaker HG, Keyhani A, Mohammadi A, Rafiee S and Akram A. 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. Agriculture Ecosystem Environment, 137: 367-372. https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.011.

González-García S, Gasol CM, Gabarrell X, Rieradevall J, Moreira MT and Feijoo G .2010. Environmental profile of ethanol from poplar biomass as a transport fuel in Southern Europe. Renew. Energy, 35, 1014–1023. https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.10.029.

Guo S, Lin L, Liu S, Wei Y, Xu D, Li Q and Su S. 2019. Interactions between sustainable livelihood of rural household and agricultural land transfer in the mountainous and hilly regions of Sichuan. China - Sustainable Development Report, 27, 725–742. DOI: 10.1002/sd.1937.

Hatirli SA, Ozkan B and Fert C. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renewable Energy, 31:427-438. https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.04.007.

Hatirli SA, Ozkan B and Fert C. 2005. An econometric analysis of energy input–output in Turkish agriculture. Renewable and Sustainable Energy Reviews 9: 608–623. https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.07.001.

Kadam AK, Keteku AK, Dana S, Blege PK. 2020. Influence of land configuration and fertilization techniques on soybean (*Glycine max* L. Merrill.) productivity, soil moisture and fertility. Acta agriculturae Slovenica, 11: 79–88. https://doi.org/10.14720/aas.2020.115.1.1220.

Kallivrousis L, Natsis A and Papadakis G. 2002. RD -Rural development the energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. Biosystem Engineering. 18, 347 -354. https://doi.org/10.1006/bioe.2001.0021.

Keteku AK, Intanon P, Terapongtanakorn S, Intanon R. 2019. Economic production of maize under chemical and granular organic fertilizer with hormone mixed formula, NPK and organic fertilizer. Indian J. Agric. Res. 53, 560–565. DOI:10.18805/IJARe.A-422.

Khosruzzaman S, Asgar MA, Karim N and Akbar S. 2010 Energy intensity and productivity in relation to agriculture– Bangladesh perspective, Journal of Agricultural Technology, 6 (4): 615-63. DOI:10.3329/jbas.v34i1.5492.

Kitani O. 1990. CIGR handbook of agricultural engineering. Energy and biomass engineering. ASAE Publication.

Mader P, Fliebbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Niggli U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming science. Science, 296: 1694–1697. DOI: 10.1126/science.1071148.

Pervanchon F, Bockstaller C, Girardin P. 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. Agric. Syst. 72: 149–172. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00073-7.

Rokicki T , Perkowska A, Klepacki B, Bórawski P, Bełdycka-Bórawska A and Michalski K. 2021. Changes in energy consumption in agriculture in the eu countries. Energies, 14: 440-445. **https://doi.org/10.3390/en14061570**.

Sánchez-Escobar F, Coq-Huelva D and Sanz-Cañada J. 2018. Measurement of sustainable intensification by the integrated analysis of the energy and economic flows: a Case study of the olive-oil agricultural system of Estepa. Spain. J. Cleaner Production, 201: 463–470. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.294.

Singh JM. 2000. On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. MSc. Thesis. International Institute of Management, University of Flensburg, Sustainable Energy Systems and Management, Germany.

Singh G, Singh S and Singh J. 2004. Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. Energy Conversation and Management, 45: 453–465. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00155-9.

Skevas T, Alfonos L, Spiro S. 2012. Measuring technical efficiency in the presence of pesticide spillovers and production uncertainty: The case of Dutch arable farms, European Journal of Operational Research, 223: 550–559. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.06.034.

Turkmani J, Zoghipoor A. 2007. Factors affecting the export of food products. Economics and Agriculture, 2 (1), 23-33. (In Persian with English Abstract).

Unakitan G, Hurma H and Yilmaz F. 2010. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. Journal of Energy, 35: 3623-3627. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.005.

Uzunoz M, Akcay Y and Esengun K . 2008. Energy input -output analysis of sunflower seed oil in Turkey. Energy Sources, 3: 215 – 223. DOI:10.15316/SJAFS.2020.188.

Yilmaz I, Akcaoz H and Ozkan B. 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. Renewable Energy, 30: 145-155. https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.06.001.

Youssef M, Khoramivafa M and Mondani F. 2014. Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris*) agroecosystems in Iran. Atmospheric Environment, 92: 501–505. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.050.