J. Agric. Mech., 10 (1):15-26 (2025)

Journal of
Agricultural Mechanization

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

Original Article

The Role of Conservation Tillage in Sustainable Agriculture with the Approach of Optimal Energy Consumption

Zaynolabedin Omidmehr [1*]

1- Agricultural Engineering Research Department, Semnan (Shahrood), Agricultural Research and Education and Natural Resources Research Center, AREEO, Shahrood, Iran.

ARTICLE INFO

***Keywords*:**
Conservation Tillage,
Energy Efficiency,
Fuel,
Sustainable Agriculture,
Wheat

Received:
June 5, 2024

Revised:
January 18, 2025

Accepted:
January 19, 2025

*** Corresponding Author:**
zshamabadi@gmail.com

ABSTRACT

Energy consumption in agriculture products is directly related to agricultural tillage systems. This study investigated the role of conservation tillage on optimal energy consumption and sustainable rural development in the production of irrigated wheat in Miami City. The required information is obtained by completing a questionnaire with face-to-face interviews based on outputs and inputs. The input and output energy and energy indexes were investigated using energy equivalence coefficients. The highest and lowest input energy consumption was related to conventional tillage (47886 MJ/ha) and no-tillage (40448 MJ/ha), respectively. In comparison with other inputs, nitrogen fertilizer accounted for the largest share of input energy in all three conventional tillage (35%), low tillage (38%), and no-tillage (41%). After nitrogen fertilizer, fuel energy, irrigation water, and electric energy accounted for the highest amount. Regarding fuel energy, conventional tillage ranked first with 16% of the total and no-tillage ranked last with 6.6%. In all three tillage methods, more than 75% of energy consumption is provided from non-renewable sources. The results showed that the conservation tillage system is an important step towards optimal use of inputs and energy in wheat production. In addition, the development of conservation agriculture can reduce the production of greenhouse gases and environmental damage and lead to the stability of production.

Introduction

Excessive consumption of energy in agriculture has been noticed by sustainable development experts as one of the important challenges that threaten the environment. Energy consumption in agriculture products is directly related to agricultural tillage systems. Studies conducted in Iran have shown that energy consumption in the agricultural sector is increasing every year. In the past, the main goal in agricultural production has been mainly focused on increasing yield and production. Whereas, today, economic and sustainable production is more important due to the improvement of product quality, reduction of input consumption, and preservation of natural resources and the environment. Considering the excessive consumption of fossil fuels and greenhouse gas emissions, all efforts are aimed at reducing energy consumption, especially fossil fuels, and greenhouse gas emissions as much as possible to achieve sustainability in production. Therefore, it is necessary to evaluate the energy consumption and its environmental effects on the emission of greenhouse gases in wheat production. To investigate the role of conservation tillage in the sustainable development of agriculture, with the approach of reducing the amount of energy consumed in irrigated wheat production, this research was conducted in Miami city.

How to cite:
Omidmehr, Z**.** (2025). *The Role of Conservation Tillage in Sustainable Agriculture with the Approach of Optimal Energy Consumption.* Journal of Agricultural Mechanization, 10 (1):15-26. https://doi.org/10.22034/jam.2024.63498.1277.

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

Materials and Methods

In this study, the effect of tillage methods (conventional tillage, reduced tillage, and no-tillage) on optimal energy consumption in irrigated wheat production was investigated. Conventional tillage operations include (plowing with a moldboard plow + disc), reduced tillage (plowing with a compound tiller), and no-tillage (direct planting). Data collection was done by filling out the form with face-to-face interviews with farmers in the region, Experienced experts, and mechanized service companies in 60 wheat production farms. Energy efficiency, energy productivity, energy intensity, and net energy were calculated using standard relationships. Energy consumption was divided into direct energies (manpower, fossil fuels, electric energy, and irrigation water), and indirect energies (agricultural machines, chemical fertilizers, pesticides and herbicides, and seeds). To calculate the global warming potential, carbon dioxide was considered as the basis for determining the effect of greenhouse gases on global warming, and the warming potential of other greenhouse gases was measured according to this gas.

Results and Discussion

The amount of energy related to each of the inputs was calculated by multiplying the consumption amount by the energy equivalent of each input. The highest and lowest input energy was related to the conventional tillage (47886 MJ/ha) and direct planting (40448 MJ/ha), respectively. These results showed that in the conventional method compared to the conservation methods, there is an increase in mechanized agricultural operations, and this problem causes an increase in fuel and energy consumption. Other researchers (Pazuki Tarodi et al., 2016) reported similar results. In comparison with other inputs, nitrogen fertilizer accounted for the largest share of input energy in conventional tillage (35%), reduced tillage (38%), and no-tillage planting (41%). The greater share of nitrogen fertilizer energy in different production systems is due to the relatively high energy equivalent and high consumption of nitrogen fertilizer in water wheat cultivation. By conducting soil tests and managing nitrogen fertilizer consumption, it is possible to reduce input energy consumption and increase energy efficiency. After nitrogen fertilizer, fuel, and electric energy accounted for the highest amount of energy. More consumption of fuel and related energy in the conventional method is due to heavy plowing operations and more operations in land preparation compared to no-tillage. Other researchers (Rajabi et al., 2013; Safa, 2008) reported similar results. The average energy intensity in the three methods of conventional tillage, reduced tillage, and no-tillage was 4, 3.7, and 3.5 megajoules per kg respectively, which no-tillage has a lower yield due to less energy consumption compared to the other two methods have less energy intensity (less energy consumption per unit of product production). The intensity of energy consumption is proportional to the intensity of tillage operations. By reducing tillage operations, fuel consumption and energy consumption intensity will decrease. Yousefi et al. (2018) reported obtained similar results. The average energy efficiency in the conventional tillage, reduced tillage and no-tillage was 3.3%, 3.7%, and 3.9% respectively. No-tillage had higher energy efficiency than the other two methods due to less energy consumption. The reason for the low energy efficiency in conventional tillage can be related to its high dependence on inputs and excessive energy consumption for production. The amount of energy efficiency in conventional tillage was lower than in conservation tillage methods. The highest and lowest values of global warming potential were related to the conventional tillage (6480.9 kilograms of CO2 equivalent per hectare) and no tillage (5479.7 kilograms of CO2 equivalent per hectare), respectively. Other researchers (Yousefi et al., 2016, Mohamadzadeh et al., 2018) reported similar results. The high global warming potential in conventional tillage is due to the number of tillage operations and the energy-intensive plowing operation, which causes more fuel consumption and consequently increases the global warming potential in comparison with no-tillage.

Conclusion

In this study, the trend of energy flow and global warming potential was investigated in conventional tillage, low tillage, and no-tillage methods in the production of irrigated wheat. Results showed, that the amount of energy input in the conventional tillage (47776 megajoules) compared to reduced tillage (43451 megajoules) and no-tillage (40448 megajoules) was more, and this caused the energy efficiency in the conventional tillage to be lower than the conservation methods. The most direct and indirect input energy was related to diesel fuel and nitrogen fertilizer, respectively. Excessive use of agricultural machines and performing multiple operations are the main factors for increasing fuel consumption and a significant increase in carbon dioxide emissions. Also, the high consumption of nitrogen fertilizer and irrigation water leads to an increase in energy consumption and the production of greenhouse gases and increases the potential for global warming. Therefore, with more management in accurate and timely consumption of inputs, using agricultural machines at the optimal time, and avoiding additional operations, it is possible to greatly reduce the creation of greenhouse gases and environmental hazards.

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

مقاله پژوهشی

نقش خاک‌ورزی حفاظتی در توسعه پایدار کشاورزی با رویکرد مصرف بهینه انرژی

زین‌العابدین امیدمهر [1*]

۱- بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

* نویسنده مسئول E-mail:zshamabadi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

چکیده

مصرف بی رویه انرژی در کشاورزی، به عنوان یکی از چالش‌های مهم تهدیدکننده محیط‌زیست مورد توجه صاحب نظران توسعه پایدار قرار گرفته است. در تولید محصولات کشاورزی، مصرف انرژی مکانیکی رابطه مستقیمی با سیستم‌های خاک‌ورزی دارد. این مطالعه با هدف بررسی نقش خاک‌ورزی حفاظتی بر مصرف بهینه انرژی و توسعه پایدار کشاورزی در تولید گندم آبی در شهرستان میامی انجام شد. اطلاعات مورنیاز از طریق تکمیل پرسش‌نامه با مصاحبه حضوری بر پایه ستانده و نهاده جمع‌آوری شد. با استفاده از ضرایب هم‌ارز انرژی، مقدار انرژی ورودی و خروجی و شاخص‌های انرژی محاسبه گردید. بیشترین و کمترین انرژی مصرفی ورودی به ترتیب مربوط به خاک‌ورزی رایج (۴۷۸۸۶ مگاژول بر هکتار) و بی‌خاک‌ورزی (۴۰۴۴۸ مگاژول بر هکتار) بود. در مقایسه با سایر نهاده‌ها، کود نیتروژن بیشترین سهم انرژی ورودی را در هر سه روش رایج (۳۵٪)، کم‌خاک ورزی (۳۸٪) و کاشت مستقیم (۴۱٪) به خود اختصاص داد. بعد از کود نیتروژن، انرژی سوخت، آب آبیاری و انرژی الکتریکی بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند. از نظر انرژی سوخت، روش رایج با ۱۶ درصد از کل در رتبه اول و بی‌خاک‌ورزی با ۶/۶ درصد در رتبه آخر قرار گرفت. در هر سه روش خاک‌ورزی بیش از ۷۵ درصد انرژی مصرفی از منابع تجدیدناپذیر تامین می‌شود. نتایج به دست آمده نشان داد که سیستم خاک‌ورزی حفاظتی گام مهمی در جهت استفاده بهینه از نهاده‌ها و انرژی در تولید گندم است. بعلاوه، توسعه کشاورزی حفاظتی، می‌تواند موجب کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و خسارات زیست محیطی شده و پایداری تولید را در پی داشته باشد.

کلمات کلیدی: بهره‌وری انرژی، خاک‌ورزی حفاظتی، سوخت، کشاورزی پایدار، گندم

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

۱- مقدمه

مطالعاتی که تاکنون در مورد مصرف انرژی در بخش کشاورزی کشور صورت پذیرفته‌اند، این واقعیت را نشان می‌دهند که مصرف انرژی در بخش کشاورزی هر ساله در حال افزایش می‌باشد (Taheri Asal and Sadeghi, 2018). امروزه تغییر اقلیم به عنوان بزرگ‌ترین چالش زیست‌محیطی و توسعه شناخته شده است. همچنین تغییر اقلیم فرصت‌های توسعه پایدار را تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. اثرات تغییر اقلیم موجب افزایش دمای هوا و افت عملکرد محصول می‌شود. این عوامل موجب ضررهای اقتصادی شده است و به این دلیل باید مصرف بی‌رویه انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بایستی کنترل شود (Pandey and Agrawal, 2014).

تاکنون هدف اصلی در تولید کشاورزی، عمدتاً بر افزایش عملکرد و تولید متمرکز بوده است. در حالیکه، امروز تولید اقتصادی و پایدار با توجه به بهبود کیفیت محصول، کاهش مصرف نهاده‌ها، حفظ منابع طبیعی و محیط زیست از اهمیت بیشتری برخوردار است. خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج به دلیل کمک به پایداری کشاورزی وکاهش هزینه‌های تولید بطور گسترده مورد استقبال قرار گرفته‌اند (Ulusoy, 2007).

با توجه به مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، تمام تلاش‌ها بر آن است که به منظور دستیابی به پایداری در تولید، مصرف انرژی بویژه سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تا حد امکان کاهش یابد (Rajabi et al., 2013). امروزه کشاورزان به دلایل اقتصادی و زیست محیطی، تمایل زیادی به استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی دارند. منافع اقتصادی روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل ایجاد پایداری در تولید محصول، حفظ رطوبت خاک و صرفه جویی در مصرف سوخت و نیروی کارگری و انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای مورد توجه قرار گرفته است (Neugschwandtner et al., 2015). در تولید گندم خاک‌ورزی حفاظتی با گاوآهن چیزل در مقایسه با شخم رایج با گاوآهن برگرداندار، زمان انجام عملیات و مصرف سوخت را ۸۵ درصد کاهش می‌دهد به همین دلیل، سیستم‌های کشاورزی پایدار که کارایی بیشتری در استفاده از منابع داشته و با محیط زیست در توازن هستند، کانون توجه دست اندرکاران بخش کشاورزی قرار گرفته است (Moitzi et al., 2013).

تعیین میزان مصرف انرژی در کشاورزی به منظور انتخاب راهکارهای مناسب جهت تخفیف اثرات زیست‌محیطی ضروری بوده و یکی از شاخص-های مهم توسعه پایدار محسوب می‌شود. در همین راستا مطالعاتی در خصوص بهینه‌سازی عملکرد گندم با استفاده از الگوهای مصرف انرژی در مناطق مختلفی از کشور انجام شده است. بررسی بیلان انرژی در تولید گندم استان کرمانشاه نشان داد که کل انرژی ورودی در گندم‌زارهای آبی و دیم به ترتیب ۵۲۴۴۴ و ۱۵۶۱۳ مگاژول بر هکتار بود و کارآیی انرژی در مزارع گندم آبی و دیم به ترتیب ۳/۱ و ۳/۸ درصد بود (Mondani et al., 2014). نتایج آزمایشی در استان اردبیل نشان داد که مصرف انرژی برای تولیدگندم ۳۸/۳۶ گیگاژول بر هکتار بود. نهاده کود بیشترین سهم (۳۸/۵ درصد) را در انرژی مصرفی داشت و در این استان، نسبت انرژی برای تولید گندم ۳/۱۳ و بهره‌وری انرژی ۰/۱۶ کیلوگرم بر مگاژول بود (Mousavizad et al., 2016).

نتایج آزمایشی در ساری نشان داد که میانگین انرژی ورودی در ۱۰ مزرعه برابر ۱۴۵۹۷/۷۶ مگاژول در هکتار بود. در بین نهاده‌های مصرفی در ۱۰ مزرعه گندم، کود نیتروژن معادل ۳۵/۳۳ درصد از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داد. از کل انرژی‌های ورودی انرژی‌های غیرمستقیم میانگین ۱۱۲۴۵/۶۹ مگاژول در هکتار و انرژی مستقیم میانگین ۲۶/۳۴ مگاژول در هکتار را دارا بودند. میانگین عملکرد دانه در ۱۰ مزرعه گندم ۴۲۷۵ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین بهره‌وری انرژی در ۱۰ مزرعه گندم برابر ۰/۲۹ کیلوگرم بر مگاژول بود. به‌طورکلی نتایج نشان داد که از کل انرژی‌های ورودی، میانگین انرژی غیرمستقیم، ۱۱۲۴۵/۶۹ مگاژول در هکتار و انرژی مستقیم میانگین ۳۳۵/۲۶ مگاژول در هکتار را دارا بودند (Yadi et al., 2021).

در آزمایشی بیلان انرژی در روش‌های مختلف کاشت گندم بررسی شد، نتایج نشان داد که میانگین کل انرژی ورودی در چهار روش کاشت برابر ۱۱۸۱۱/۶۱ مگاژول در هکتار بود که کم‌ترین میزان انرژی ورودی در روش کاشت بهبودیافته مشاهده شد. در بین تمامی ورودی‌ها، انرژی مصرفی مربوط به نیتروژن با ۳۸/۰۳ درصد در رتبه اول قرار گرفت. انرژی سوخت و بذر در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بیشترین انرژی تولیدی در روش کاشت بهبودیافته به‌دست آمد که ۳۶/۳۴ درصد از آن مربوط به دانه و ۶۳/۶۶ درصد مربوط به کاه و کلش بود. میانگین انرژی ورودی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در چهار روش کاشت به‌ترتیب برابر ۳۰۷۱/۳ و ۸۷۴۰/۳۳ مگاژول در هکتار بود. میانگین کارایی انرژی در روش‌های کاشت برابر ۱۴/۵۷ بود که بالاترین میزان آن مربوط به روش کاشت بهبودیافته بود. همچنین، میانگین بهره‌وری انرژی در چهار روش کاشت برابر ۰/۳۷ کیلوگرم بر مگاژول حاصل شد (Pazuki Tarodi et al., 2016).

در آزمایشی بیلان انرژی در تولید گندم آبی در استان‌های مختلف کشور انجام شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین انرژی ورودی با مقادیر ۱۰۴۷۰۱ و ۲۶۱۹۸/۱ مگاژول بر هکتار به‌ترتیب

از استان‌های خراسان‌رضوی و گلستان به‌دست آمد. استان‌های البرز و خراسان‌رضوی با مقادیر ۱۶۲۱۶۹/۳ و ۱۲۲۹۷/۵ مگاژول بر هکتار به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین انرژی ستانده را در تولید گندم آبی داشتند. بیش‌ترین سهم انرژی نهاده‌های مصرفی برای استان‌های البرز، اردبیل، خوزستان، گلستان و همدان مربوط به انرژی کودهای شیمیایی و برای استان‌های

اصفهان و خراسان رضوی انرژی آبیاری بود. میانگین انرژی ورودی، انرژی ستانده، کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و افزوده خالص انرژی در استان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۵۸۳۰۸/۸۳ مگاژول بر هکتار، ۱۳۶۰۹۲/۲ مگاژول بر هکتار، ۲/۸۷، ۰/۲۱۲ کیلوگرم بر مگاژول و ۷۷۷۸۳/۳۱ مگاژول بر هکتار به‌دست آمد. ماشین‌های کشاورزی با ۳۴/۸۷ درصد بیش‌ترین سهم هزینه تولید را داشتند. بیش‌ترین و کم‌ترین بهره‌وری انرژی ورودی برای استان‌های گلستان و خراسان‌رضوی به‌ترتیب با مقادیر ۰/۳۸ و ۰/۰۸ کیلوگرم بر مگاژول تعیین شد (Vahedi, 2018a).

در آزمایشی اثر سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی در پایداری تولید گندم بررسی شد. نتایج نشان داد که مجموع انرژی ورودی برای تولید گندم در سیستم کم‌خاک‌ورزی حدود ۳۲ گیگاژول در هکتار و انرژی خروجی ۱۱۴۸۶۰ مگاژول بود. انرژی سوخت دیزلی با ۴۵ درصد، انرژی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی ۳۳ درصدبیشترین سهم انرژی ورودی را به خود اختصاص دادند و بکارگیری صحیح و دقیق سیستم کم‌خاک-ورزی به عنوان گامی مهم در جهت دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی پیشنهاد شد (Bahrami, 2018). تحلیل و ارزیابی اقتصادی الگوی مصرف انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانهای در تولید گندم آبی استان اردبیل انجام شد. نتایج نشان داد که نتایج نشان داد کل انرژی ورودی حدود ۳۸۷۵۵/۳۴ مگاژول در هکتار بود. در بین نهاده‌های ورودی میزان کود نیتروژن و سوخت دیزل بترتیب ۳۷/۴ و ۱۹/۰۳ درصد بیشترین سهم را داشتند. سهم انرژی مصرفی مستقیم و غیرمستقیم بترتیب حدود ۳۹/۹ و ۶۰/۱ درصد بود. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر به ترتیب ۳۱ و ۶۹ درصد بود. کارآیی مصرف انرژی برای تولید دانه و عملکرد زیست توده گندم آبی به ترتیب ۱/۶۷ و ۱/۹۹ به دست آمد. بهره‌وری انرژی نیز به ترتیب ۰/۶۱۱ و ۰/۲۴۲ کیلوگرم بر مگاژول برآورد شد (Taghinejad et al., 2018).

در آزمایشی کل انرژی مصرفی و ستانده در تولید گندم آبی استان البرز به ازای هر هکتار به ترتیب ۴۵۴۵۸/۸۴ و ۱۶۲۱۶۹/۲۸ مگاژول محاسبه شد. شاخص کارایی انرژی، بهره وری انرژی و افزوده خالص انرژی به ترتیب ۳/۵۷, ۰/۲۷ کیلوگرم بر مگاژول و ۱۱۶۷۱۰/۴۴ مگاژول بر هکتار به دست آمد. بیشترین مقدار مصرف انرژی (۴۳/۰۶ درصد از کل انرژی مصرفی در تولید گندم) در کود شیمیایی دیده شده است. مثبت بودن افزوده خالص انرژی نشان می دهد که تولید گندم آبی در استان البرز توجیه پذیر است. مقدار صرفه‌جویی انرژی در تولید گندم آبی استان ۳/۵۱ درصد به دست آمد و نشان می‌دهد با توجه به توصیه های این مطالعه و با حفظ سطح فعلی عملکرد محصول گندم، میتوان به طور متوسط ۱۶۱۰/۶۲ مگاژول به ازای هر هکتار زمین زیرکشت گندم در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد (Vahedi, 2018b).

مصرف نهاده‌هایی مانند سوخت‌های فسیلی، کودها و سموم شیمیایی بیش از ظرفیت زیستی تولید محصول گندم در واحد سطح بوده و ضمن کاهش ظرفیت اکولوژیکی خاک، آب و هوا ، موجبات آلودگی زیست محیطی را نیز فراهم آورده است.

با توجه به اینکه در سند ملی محیط‌زیست ایران، توجه ویژه‌ای به بهره‌برداری صحیح، حفاظت از محیط‌زیست و حقوق نسل امروز و فردا شده است. همچنین بر رعایت و پایبندی به توافقات و پروتکل‌های بین‌المللی در خصوص کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تاکید شده است. بنابراین ارزیابی انرژی مصرفی و اثرات زیست‌محیطی آن بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم لازم و ضروری است. این پژوهش به منظور مطالعه نقش خاک‌ورزی حفاظتی در توسعه پایدار کشاورزی، با رویکرد کاهش میزان انرژی مصرفی در سه روش مختلف تولید گندم آبی و ارائه پیشنهادهایی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در جهت توسعه پایدار کشاورزی در شهرستان میامی انجام شد.

۲- مواد و روش ها

به منظور بررسی نقش روش‌های خاک‌ورزی (خاک‌ورزی رایج، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) در مصرف بهینه انرژی در تولید پایدار گندم آبی، این مطالعه در شهرستان میامی استان سمنان انجام شد. این منطقه در قسمت جنوب شرقی رشته کوه البرز قرار گرفته و دارای خاک با بافت لومی شنی می‌باشد. عملیات خاک‌ورزی رایج شامل (شخم با گاوآهن برگرداندار+ دیسک)، کم‌خاک‌ورزی (شخم با خاک‌ورز مرکب) و بی‌خاک-ورزی (کاشت مستقیم) می‌باشند. جمع‌آوری داده‌ها ازطریق تکمیل فرم با مصاحبه حضوری با کشاورزان منطقه، کارشناسان بخش اجرا و شرکت‌های خدمات مکانیزه، در ۶۰ مزرعه تولیدگندم جمع‌آوری شد. برای تعیین حجم نمونه از روش نمونه‌گیری تصادفی و رابطه (۱) استفاده شد (Snedecor and Cochran, 1989).

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \qquad (۱)$$

که در آن؛ n= حجم نمونه (تعداد)،N= حجم جامعه (تعداد)، s=پیش برآورد انحراف معیار جامعه، t= ۱/۹۶ (در سطح اطمینان ۹۵٪) و d= دقت احتمالی مطلوب (۰/۵) می‌باشند.

راندمان انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و انرژی خالص با استفاده از روابط ۲ تا ۵ محاسبه شد (Faiz-Bakhsh and Soltani, 2012).

$$E_E = \frac{E_O}{E_I} \qquad (۲)$$

که در آن؛ E_E= بازده انرژی (درصد)، E_O= انرژی خروجی (مگاژول برهکتار) و E_I= انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار) می‌باشند. مقدار انرژی ورودی، از حاصل‌ضرب مقدار نهاده‌های مصرفی در معادل انرژی آنها (جدول۱) محاسبه گردید. همچنین انرژی تولیدی گندم از حاصل‌ضرب عملکرد در معادل انرژی آن محاسبه شد.

$$E_p = \frac{Y}{E_I} \quad (۳)$$

که در آن؛ E_P = بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)، Y= عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) و E_I= انرژی ورودی (مگاژول برهکتار) می‌باشند.

$$E_T = \frac{E_I}{Y} \quad (۴)$$

که در آن؛ E_T= شدت انرژی (مگاژول برکیلوگرم)، Y= عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) و E_I= انرژی ورودی (مگاژول برهکتار) می‌باشند.

$$N_e = E_O - E_I \quad (۵)$$

که در آن؛ N_e = انرژی خالص (مگاژول در هکتار)، E_O= انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار) و E_I= انرژی ورودی (مگاژول برهکتار) می‌باشند.

تقسیم‌بندی انرژی‌های مصرفی می‌تواند به شکل انرژی‌های مستقیم (نیروی انسانی، سوخت‌های فسیلی، انرژی الکتریکی و آب آبیاری)، و انرژی‌های غیرمستقیم (ماشین‌های کشاورزی، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها و بذر) باشد (Alam et al., 2005). در تقسیم‌بندی دیگر انرژی مصرفی، در دو بخش تجدیدشونده (نیروی انسانی، بذر و آب آبیاری) و غیرقابل تجدید (سوخت فسیلی، ماشین‌های کشاورزی، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها گروه‌بندی می‌شود (Dargahi et al., 2016).

جدول ۱- محتوای انرژی ورودی‌ها و خروجی‌ها در تولید گندم آبی

Table 1. Energy content of inputs and outputs in irrigated wheat production

نهاده Input	واحد Unit	هم‌ارزی انرژی (مگاژول بر واحد) Energy Equivalent (MJ/unit)	منبع Source
ورودی‌ها (الف) Inputs (A)			
نیروی کارگری Labor force	ساعت	۱/۹۶	Singh et al., 2007
ماشین‌های کشاورزی Agricultural machinery	ساعت	۶۲/۷	Singh et al., 2007
سوخت Fuel	لیتر	۴۷/۸	Singh et al., 2007
بذر Seed	کیلوگرم	۱۵/۷	Singh et al., 2007
آب آبیاری Irrigation water	متر مکعب	۱/۰۲	Ozkan et al., 2004
انرژی الکتریکی Electricity	کیلووات ساعت	۳/۶	Ozkan et al., 2004
سموم شیمیایی Chemical toxins			
علف‌کش Herbicides	لیتر	۲۳۸	Mirhaji et al., 2014
آفت‌کش Pesticides	لیتر	۱۰۱/۲	Mirhaji et al., 2014
قارچ‌کش‌ها Fungicides	لیتر	۲/۶	Mirhaji et al., 2014
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers			
ازت Nitrogen	کیلوگرم	۶۶/۱۴	Ozkan et al., 2004
فسفر Phosphorus	کیلوگرم	۱۲/۴۴	Ozkan et al., 2004
پتاسیم Potassium	کیلوگرم	۱۱/۱۵	Ozkan et al., 2004
خروجی (ب) Outputs (B)			
دانه گندم Wheat grain	کیلوگرم	۱۴/۸	Singh et al., 2007
کلش گندم Wheat stalk	کیلوگرم	۱۲/۵	Singh et al., 2007

پتانسیل گرمایش جهانی(GWP) عبارت از جمع گازهای گلخانه-ای تولید شده است که به صورت معادل CO2 بیان می‌شوند. گازهای گلخانه‌ای عمده عبارت از دی اکسیدکربن (CO2)، نیترو اکسید (N2O)، متان (CH4)، ازن و گازهای دیگر می‌باشند. در بین این گازها دی اکسیدکربن، متان و نیترواکسید به دلیل طول عمر زیاد و میزان تابش امواج فروسرخ از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای هستند، از این رو در گزارش‌های مربوطه به میزان نشر گازهای گلخانه‌ای عمدتا نشر این گازها را در نظر گرفته می‌شود (Rajabi et al., 2013). برای محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی، دی اکسید کربن به عنوان مبنای تعیین میزان تاثیر گازهای گلخانه‌ای بر گرمایش زمین در نظر گرفته شد و پتانسیل گرمایش سایر گازهای گلخانه‌ای بر گرمایش، نسبت به آن سنجیده شد.

جدول ۲-ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی
Table 2. Greenhouse gas emission coefficients and global warming potential

منبع Source	دی اکسید کربن CO_2 (g)	دی اکسید نیتروژن NO_2 (g)	متان Methan (g)	نهاده Input
Dyer and Desjardins, 2006	۳۵۶۰	۰/۷	۵/۲	سوخت Fuel (L)
Snyder et al., 2009	۳۱۰۰	۰/۰۳	۳/۷	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (kg)
Snyder et al., 2009	۱۰۰۰	۰/۲۰	۱/۸	کود فسفات Phosphate fertilizer (kg)
Snyder et al., 2009	۷۰۰	۰/۰۱	۱	کود پتاسیم Potassium fertilizer (kg)
Liu et al., 2010	۲/۶۱	۸/۸۲	۰/۰۲	الکتریسیته Electricity (kWh)
Liu et al., 2010	۱	۳۱۰	۲۱	پتانسیل گرمایش جهانی Global warming potential (CO_2 eq)

تجزیه و تحلیل داده‌ها در دو بخش انرژی مصرفی و تولیدی در روش‌های مختلف خاک‌ورزی برای تولید گندم انجام شد. داده‌های مربوط به انرژی ورودی و عملکرد گندم توسط نرم‌افزار صفحه گسترده اکسل ۹ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

مقادیر نهاده‌های مختلف، هم‌ارزی انرژی و سهم هر یک جهت تولید محصول گندم آبی در هکتار در هر یک از روش‌های زراعی در جدول ۳ نشان داده شده است. میزان انرژی مربوط به هر از نهاده‌ها از حاصل ضرب مقدار مصرف در هم‌ارز انرژی هر نهاده (جدول ۱) محاسبه شد.

طبق نتایج جدول ۳، بیشترین و کمترین انرژی ورودی به ترتیب مربوط به روش رایج (۴۷۸۸۶ مگاژول در هکتار) و کاشت مستقیم (۴۰۴۴۸ مگاژول در هکتار) بود. این نتایج نشان داد که در روش رایج نسبت به روش‌های حفاظتی، در انجام عملیات زراعی ماشینی زیاده‌روی می‌شود و این مسئله موجب افزایش مصرف سوخت و انرژی ناشی از مصرف آن می‌شود. نتایج مشابه توسط پژوهشگران دیگر گزارش شد (Pazuki Tarodi et al., 2016) گزارش شد. در مقایسه با سایر نهاده‌ها، کود نیتروژن بیشترین سهم انرژی ورودی را در هر سه روش رایج (۳۵٪)، کم‌خاک ورزی (۳۸٪) و کاشت مستقیم (۴۱٪) به خود اختصاص داد. نتایج مشابه توسط سایر پژوهشگران گزارش شد (Amiri et al., 2019 ؛ Safa and Tabatabaeefar, 2008, ؛ Fartot Enayat et al., 2016). سهم بیشتر انرژی کود نیتروژن در نظام‌های مختلف تولید به دلیل بالابودن نسبی هم‌ارز انرژی و مصرف زیاد کود نیتروژن در زراعت گندم آبی می باشد. با انجام آزمون خاک و مدیریت مصرف کود نیتروژن می‌توان میزان مصرف انرژی ورودی را کاهش داده و بهره‌وری انرژی را افزایش داد.

بعد از انرژی ورودی کود نیتروژن، انرژی سوخت و انرژی الکتریکی بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند. مصرف بیشتر سوخت و انرژی مربوط به آن در روش مرسوم، بدلیل انجام عملیات سنگین شخم و انجام تعداد عملیات بیشتر در آماده‌سازی زمین در مقایسه با کاشت مستقیم می‌باشد (جدول ۱). نتایج مشابه توسط دیگران گزارش شد (Rajabi et al., 2013؛ Safa, 2008). مقادیر شکل‌های مختلف انرژی‌های ورودی و سهم هر کدام در جدول۳ نشان داده شده است. سوخت، نیروی انسانی، آب آبیاری و انرژی الکتریکی در بخش انرژی مصرفی مستقیم ارائه شده است. روش رایج و کاشت مستقیم به ترتیب بیشترین (۲۱۵۴۳ مگاژول در هکتار) و کمترین مقدار (۱۶۴۱۵ مگاژول در هکتار) انرژی مصرفی مستقیم را داشتند (جدول ۴).

جدول۳– میزان انرژی‌های ورودی و خروجی به تفکیک روش زراعی در هر روش بر حسب مگاژول بر هکتار

Table 3. The amount of input and output energies to the separation of agricultural method in each method megajoules per hectare

	روش رایج Common method			روش کم‌خاک‌ورزی Low tillage method			کاشت مستقیم Direct planting		
	میزان نهاده Amount of input	معادل انرژی Energy equivalent	درصد از کل Percentage of total	میزان نهاده Amount of input	معادل انرژی Energy equivalent	درصد از کل Percentage of total	میزان نهاده Amount of input	معادل انرژی Energy equivalent	درصد از کل Percentage of total
الف: انرژی‌های ورودی A: Input energies									
سوخت Fuel	۱۶۰	۷۶۴۸	۱۵.۹۷	۱۰۰	۴۷۸۰	۱۱.۰۰	۵۶	۲۶۷۶.۸	۶.۶۲
نیروی انسانی human power	۱۳۰	۲۵۴.۸	۰.۵۳	۸۰	۱۵۶.۸	۰.۳۶	۵۰	۹۸	۰.۲۴
بذر Seed	۲۸۰	۴۱۴۴	۸.۶۵	۲۲۰	۳۲۵۶	۷.۴۹	۱۸۰	۲۶۶۴	۶.۵۹
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	۲۵۰	۱۶۵۳۵	۳۴.۵۳	۲۵۰	۱۶۵۳۵	۳۸.۰۵	۲۵۰	۱۶۵۳۵	۴۰.۸۸
کود فسفر Phosphorus fertilizer	۷۵	۹۳۳	۱.۹۵	۷۵	۹۳۳	۲.۱۵	۷۵	۹۳۳	۲.۳۱
کود پتاسیم Potassium fertilizer	۱۵۰	۱۶۷۲.۵	۳.۴۹	۱۵۰	۱۶۷۲.۵	۳.۸۵	۱۵۰	۱۶۷۲.۵	۴.۱۳
علف‌کش Herbicide	۲	۴۷۶	۰.۹۹	۲	۴۷۶	۱.۱۰	۳	۷۱۴	۱.۷۷
آفت‌کش Pesticide	۱	۱۰۱.۲	۰.۲۱	۱	۱۰۱.۲	۰.۲۳	۱	۱۰۱.۲	۰.۲۵
آب آبیاری Irrigation water	۶۹۰۰	۷۰۳۸	۱۴.۷۰	۶۹۰۰	۷۰۳۸	۱۶.۲۰	۶۹۰۰	۷۰۳۸	۱۷.۴۰
انرژی الکتریکی Electrical energy	۱۸۳۴	۶۶۰۲.۴	۱۳.۷۹	۱۸۳۴	۶۶۰۲.۴	۱۵.۲۰	۱۸۳۴	۶۶۰۲.۴	۱۶.۳۲
ماشین‌های کشاورزی Agricultural machinery	۳۷	۲۴۸۰.۶۰	۵.۱۸	۲۸	۱۸۹۹.۷۰	۴.۳۷	۲۰	۱۴۱۳.۰۰	۳.۴۹
انرژی ورودی کل Total input energy	–	۴۷۸۸۶	۱۰۰.۰	–	۴۳۴۵۱	۱۰۰.۰	–	۴۰۴۴۸	۱۰۰.۰
ب: انرژی خروجی B: Output energy									
دانه گندم Wheat grain	۴۹۶۰	۷۳۴۰۸	–	۵۱۴۰	۷۶۰۷۲	–	۵۰۳۰	۷۴۴۴۴	–
کاه و کلش Straw and stubble	۶۸۷۰	۸۵۸۷۵	–	۶۷۵۰	۸۴۳۷۵	–	۶۶۷۰	۸۳۳۷۵	–
انرژی خروجی کل Total output energy	–	۱۵۹۲۸۳	۱۰۰	–	۱۶۰۴۴۷	۱۰۰	–	۱۵۸۷۱۹	۱۰۰

جدول ۴- مقادیر انرژی مستقیم و غیرمستقیم شاخص‌های انرژی در هر روش بر حسب مگاژول بر هکتار

Table 4. Direct and indirect energy values of energy indicators in each method in terms of mega joules per hectare

ورودی Input	کاشت رایج Common planting		روش کم‌خاک‌ورزی Low tillage method		کاشت مستقیم Direct planting	
	میانگین Average	درصد از کل Percentage of total	میانگین Average	درصد از کل Percentage of total	میانگین Average	درصد از کل Percentage of total
ورودی‌ها **Inputs**						
مستقیم (مگاژول بر هکتار) Direct (megajoules per hectare)	۲۱۵۴۳/۲	۴۵	۱۸۵۷۷/۲	۴۲/۸	۱۶۴۱۵/۲	۴۰/۶
غیرمستقیم (مگاژول بر هکتار) Indirect (megajoules per hectare)	۲۶۳۴۲/۳	۵۵	۲۴۸۷۳/۴	۵۷/۲	۲۴۰۳۲/۷	۵۹/۴
تجدیدپذیر (مگاژول بر هکتار) Renewable (megajoules per hectare)	۱۱۴۳۶/۸	۲۳/۹	۱۰۴۵۰/۸	۲۴/۱	۹۸۰۰	۲۴/۲
تجدید ناپذیر (مگاژول بر هکتار) Non-renewable (megajoules per hectare)	۳۶۴۴۸/۷	۷۶/۱	۳۲۹۹۹/۸	۷۵/۹	۳۰۶۴۷/۹	۷۵/۸
بازده انرژی (٪) Energy efficiency(٪)	۳/۳	-	۳/۷	-	۳/۹	-
بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) Energy efficiency (kg/megajoule)	۰/۲۵	-	۰/۲۷	-	۰/۲۹	-
شدت انرژی (مگاژول برکیلوگرم) Energy intensity (megajoules/kg)	۴	-	۳/۷	-	۳/۵	-
انرژی خالص (مگاژول) Net energy (megajoules)	۱۲۷۷۳۸	-	۱۲۶۰۸۷	-	۱۲۳۷۱۹	-

مصرف انرژی مستقیم بیشتر در روش رایج مربوط به مصرف سوخت بیشتر در عملیات زراعی (آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت) می‌باشد. نتایج مشابه نشان داد که استفاده از ماشین‌های کشاورزی در مزارع مکانیزه عامل اصلی افزایش مصرف سوخت می‌باشد (Tipi et al., 2009).

انرژی مورد نیاز برای تهیه و تولید کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، بذر و ماشین‌های کشاورزی در بخش انرژی مصرفی غیرمستقیم قرارگرفتند. مطابق جدول۴، بیشترین انرژی ورودی مستقیم در مزارع گندم آبی مربوط به سوخت و غیرمستقیم مربوط به کود نیتروژن بود. نتایج مشابه توسط دیگران گزارش شد (Mehrabi and Esmaili, 2018, Canakci et al., 2005). در هر سه نظام تولید، بیش از ۵۰ درصد انرژی ورودی به صورت غیرمستقیم می‌باشد که انرژی ورودی نیتروژن و آب آبیاری نقش مهمی را داشتند. چنانکه در جدول ۴ مشاهده می‌شود، در هر سه روش بیش از ۷۵ درصد از انرژی ورودی به انرژی‌های تجدیدناپذیر مربوط می‌شود. این موضوع با گزارش Beheshti-Tabar (2016) در خصوص وابستگی زیاد کشاورزی ایران به انرژی‌های تجدیدناپذیر همخوانی دارد. مصرف بالای انرژی‌های تجدیدناپذیر سبب کاهش کارآیی مصرف انرژی نظام‌های تولید خواهدشد. زیرا استفاده از مواد شیمیایی و ماشین‌های کشاورزی، مشخصه‌های اصلی نظام‌های رایج و نیازمند مصرف مقادیر زیادی انرژی هستند. منبع انرژیهای تجدیدناپذیر عمدتاً کود نیتروژن و سوخت‌های فسیلی می‌باشند و تکیه براین منابع در آینده همراه با مخاطرات زیادی می‌باشد. لذا جهت دستیابی به به یک نظام تولیدار پایدار، باید میزان کارآیی انرژی و سهم انرژی تجدیدپذیر را در نظام‌های تولید افزایش داد. نتایج مشابه توسط Moore (2010) گزارش شد.

طبق جدول ۳ سهم انرژی سوخت در روش رایج حدود ۱۶ درصد و در روش‌های حفاظتی حدود ۹ درصد می‌باشد. لذا استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی علاوه بر کاهش مصرف سوخت به عنوان منبع تجدیدناپذیر از نظر مسائل زیست محیطی نیز حائز اهمیت است. میانگین بازده انرژی در سه روش کاشت رایج، کم‌خاک‌ورزی و مستقیم گندم به ترتیب ۳/۳، ۳/۷ و ۳/۹ درصد بود که از این میان کاشت مستقیم، به دلیل مصرف کمتر انرژی نسبت به دو روش دیگر دارای بازده انرژی بالاتر بود. دلیل پایین بودن بازده انرژی در روش رایج را می‌توان به وابستگی زیاد آن به نهاده‌های ورودی ومصرف بیش‌ترانرژی برای تولید نسبت داد. بنابراین میزان بهره‌وری انرژی درکاشت رایج (۰/۲۷) از روش‌های حفاظتی کمتر است (جدول ۴). دلیل این امر سهم

زیاد انرژی سوخت و ماشین‌ها در روش مرسوم نسبت به روش‌های حفاظتی می‌باشد. Faiz-Bakhsh (2012) و Pazuki Tarodi et al., (2016) نیز مصرف کمتر نهاده‌ها را یکی از عوامل افزایش راندمان در سیستم‌های کشاورزی معرفی کردند.

میانگین شدت انرژی در سه روش کاشت رایج، کم‌خاک‌ورزی و مستقیم گندم به ترتیب ۴، ۳/۷ و ۳/۵ مگاژول برکیلوگرم بود که از این میان بی‌خاک‌ورزی با وجود عملکرد کمتر، به دلیل مصرف کمتر انرژی نسبت به دو روش دیگر دارای شدت انرژی کمتر (مصرف انرژی کمتر به ازای هر واحد تولید محصول) است. شدت انرژی مصرفی متناسب با شدت عملیات خاک‌ورزی است. با کاهش عملیات خاک‌ورزی، مصرف سوخت و شدت مصرف انرژی کاهش می‌یابد. نتایج مشابه توسط Yousefi et al. (2018) گزارش شد.

بیشترین و کمترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی به ترتیب مربوط به روش مرسوم (۶۴۸۰/۹ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) و کاشت مستقیم (۵۴۷۹/۷ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) می‌باشد (جدول ۵). نتایج مشابه توسط پژوهشگران دیگر گزارش شد (Yousefi et al., 2016, Mohamadzadeh et al., 2018). پتانسیل گرمایش جهانی بیشتر در روش مرسوم، بدلیل تعداد عملیات خاک‌ورزی بیشتر و انرژی‌بر بودن عملیات شخم می‌باشد که موجب مصرف سوخت بیشتر و به تبع آن افزایش پتانسیل گرمایش جهانی در مقایسه با کاشت مستقیم می‌باشد. زیاده‌روی در استفاده از ماشین‌های کشاورزی و انجام عملیات متعدد، عامل اصلی افزایش مصرف سوخت و افزایش قابل‌ملاحظه انتشار دی‌اکسیدکربن می‌باشد. بنابراین با مدیریت بیشتر در مصرف دقیق و بموقع نهاده‌ها و استفاده از ماشین‌های کشاورزی در زمان بهینه و پرهیز از انجام عملیات اضافی می‌توان تا حدی زیادی ایجاد گازهای گلخانه‌ای و مخاطرات زیست‌محیطی را کاهش داد.

جدول ۵- مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی در سه نظام تولید گندم آبی

Table 5. Values of global warming potential in three irrigated wheat production systems

پتانسیل گرمایش جهانی Global warming potential	روش رایج Common method	روش کم‌خاک‌ورزی Low tillage method	کاشت مستقیم Direct planting
برحسب سطح (کیلوگرم در هکتار) By area (kg/ha)	۶۴۸۰/۹	۵۸۸۵/۶	۵۴۷۹/۷
برحسب وزن (کیلوگرم بر تن) By weight (kg/ton)	۱۴۴	۹۰/۵	۸۴/۳
برحسب انرژی ورودی (کیلوگرم بر گیگاژول) By input energy (kg/GJ)	۱۰۸	۱۰۱/۸	۹۴/۸
برحسب انرژی خروجی (کیلوگرم بر گیگاژول) By output energy (kg/GJ)	۵۵/۹	۳۵/۲	۳۲/۸

۴- نتیجه‌گیری

با مطالعه روند جریان انرژی در کشت بوم های گندم آبی شهرستان میامی مشخص گردید میزان انرژی ورودی در روش رایج (۴۷۷۷۶ مگاژول) نسبت به کم‌خاک‌ورزی (۴۳۴۵۱ مگاژول) و بی‌خاک‌ورزی (۴۰۴۴۸ مگاژول) بیشتر بود و این مسئله باعث شد که بهره‌وری انرژی در روش رایج نسبت به روش‌های حفاظتی کمتر باشد. به طور کلی نتایج این بررسی نشان داد که تولید گندم به روش رایج در شهرستان میامی از نظر کارآیی مصرف انرژی و پایداری تولید دارای وضعیت مطلوبی نیست. به نظر می رسد عدم آگاهی کافی بهره‌برداران از روش‌های اصولی کاربرد نهاده‌های تولید (بویژه کود نیتروژن، سوخت و ماشین‌های کشاورزی و آب آبیاری)، از دلایل اصلی مصرف بیش از حد نهاده‌ها و افزایش پتانسیل گرمایش جهانی می‌باشد. بنابراین تجدیدنظر در نظام‌های زراعی در جهت استفاده از روش‌های کم‌نهاده و انرژی‌های طبیعی منجر به کاربرد کارآمدتر انرژی خواهد شد. همچنین جایگزینی سیستم کشاورزی حفاظتی به لحاظ کاهش مصرف نهاده‌های انرژی و هزینه‌های تولید، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و حفظ محیط زیست و توسعه پایدار کشاورزی می‌تواند تواند گام مهمی در جهت اصلاح و تعدیل نگرش غلط افزایش کمی تولید محصولات کشاورزی باشد. بنابراین آموزش و ترویج خاک‌ورزی حفاظتی، روش‌های صحیح استفاده از نهاده‌ها، آبیاری تحت فشار و استفاده از انرژی‌های قابل تجدید (انرژی خورشیدی) راهکارهای مهم در جهت افزایش بهره‌وری انرژی در تولید محصول می‌باشند و علاوه بر کاهش گازهای گلخانه‌ای و تقلیل اثرات منفی زیست‌محیطی درکشاورزی، موجب می‌شود تا ضمن حفظ منابع آب و خاک، سلامت و امنیت غذایی را به طور چشم-گیری ارتقاء داده و گامی موثر در محافظت از منابع حیاتی نسل‌های بعدی و توسعه پایدار کشاورزی باشد.

۵- منابع

Alam, M. S., Alam, M. R., and Islam, K. K. (2005). *Energy flow in agriculture Bangladesh*. American Journal of Environmental Sciences 1 (3): 213-220.

Amiri, A., Zare Mehrjardi, Y., Jalali Manesh, A., and Sadeghieh, A. (2019). *Dynamics of factors affecting the stability of wheat production system*. Research in production and operations management. 11 (2): 1-26. (In Persian). https://doi.org/10.22108/jpom.2020.119784.1225.

Bahrami, A. (2018). *The role of conservation tillage systems in the development of agricultural and rural sustainability*. Rural Development Strategic Quarterly. 6 (2): 181-188. (In Persian). https://doi.org/10.22048/rdsj.2020.187385.1799.

Beheshti-Tabar, A., and Kihani, A. (2016). *Analysis of energy input and output of a sample field of water wheat in Khatam City, Yazd province*. The third student conference of agricultural machinery engineering. Shiraz. (In Persian). https://civilica.com/doc/136077.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., and Ozmerzi, A. (2005). *Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey*. Energy Conversion and Management. 46: 655-666. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.04.008.

Dargahi, M. R., Jahan, M., Naseripour Yazdi, M. T., and Ghorbani, R. (2016). *Evaluation of energy balance and economic analysis of rapeseed in Golestan province*. Agricultural applied research. 112: 50-62. (In Persian). https://doi.org/10.22092/aj.2016.112697.

Fartot Enayat, F., Mousavinik, S. M., and Asgharipour, M. R. (2016). *Investigating the efficiency of energy consumption, greenhouse gas emissions, and economic analysis of fodder sorghum cultivation in Sistan region*. Agricultural knowledge and sustainable production. 27 (3): 33-43. (In Persian).

Faiz-Bakhsh, M.T., and Soltani, A. (2012). *Energy flow and global warming potential in grain corn fields (Gorgan city)*. Crop Production (Electronic Journal of Crop Production), 6 (3): 89-107. (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1392.6.3.6.6.

Mehrabi Beshrabadi, H., and Esmaili, A. (2018). *Energy input-output analysis in Iran's agricultural sector*. Agricultural economics and development. 28 (74): 1-28. (In Persian). https://doi.org/10.30490/aead.2011.58765.

Mirhaji, H., Khojastepour, M., and Abbaspour-fard, M. H. (2013). *Investigating the environmental effects of wheat production in Maroodasht region in Iran*. Natural environment (natural resources of Iran). 66 (2): 223-232. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jne.2013.35859.

Mondani, F., Khoramivafa, M., Aleagha, S., and Ghobadi, R. (2014). *Assessment of energy flow in irrigated and dry-land wheat farms under different climatic conditions in Kermanshah province*. Journal of Agroecology. 5 (2): 75-88. (In Persian with English abstract).

Mohamadzadeh, A., Mahdavi, A., Vafabakhsh, J., and Deyhim, R. (2018). *Ecological-economic efficiency of alfalfa and fodder corn production in Maragheh-Banab plain, East Azarbaijan province*. Agricultural ecology. 10 (3): 875-895. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v10i3.62701.

Moitzi, G., Szalay, T., Schuller, M., Wagentristl, H., Refenner, K., Weingartmann, H., Liebhard, P., Boxberger, J. and Gronauer, A. (2013). *Effects of tillage systems and mechanization on work time, fuel and energy consumption for cereal cropping in Austria.* Agricultural Engineering International: Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 15: 94–101.

Mousavizad, M., Rasouli Sharbiani, V., and Aghaei, G. (2016). *Investigation of energy consumption in wheat crop production (case study in Ardabil city)*, the fifth national conference and the first international conference on organic and conventional agriculture, Ardabil. (In Persian).

Moore, SR. (2010). *Energy efficiency in small-scale bio-intensive organic onion production in Pennsylvania, USA*. Renewable Agriculture and Food System. 25: 181-188. https://doi.org/10.1017/S1742170510000098.

Neugschwandtner, RW., Kaul, HP., Liebhard, P. and Wagentristl, H. (2015). *Winter wheat yields in a long-term tillage experiment under Pannonian climate conditions.* Plant Soil Environment. 61(4): 145–150. http://dx.doi.org/10.17221/820/2014-PSE.

Ozkan, B., Akcaoz H and Fert, C. (2004). *Energy input–output analysis in Turkish agriculture*. Renewable Energy 29: 39-51. https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00135-6.

Pandey, D. and Agrawal, M. (2014). *Greenhouse gas emissions from rice crop with different tillage permutations in rice-wheat system*. Agricultural Ecosystem and Environment.59:133–144. https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.07.008.

Pazuki Tarodi, M., Ajam Nowrozi, H., Ghanbari Malidereh, A., Dadashi, M.R., and Dastan, S.

(2016). *Evaluation of energy balance and carbon dioxide emission in wheat production fields*. Agricultural ecology. 4 (9): 1168-1193. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v9i4.54771.

Rajabi, M.H., Soltani, A., Zainli, A. and Soltani, A. (2013). *Evaluation of energy consumption in wheat production in Gorgan*. Research Journal of Plant Products. 3 (19): 143-171. (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222050.1391.19.3.9.9.

Safa, M., and Tabatabaeefar, A. (2008). *Energy consumption in wheat production in irrigated and dryland farming*. International Agricultural Engineering Conference, November 28-30. Wuxi, China.

Singh, G., Singh, S., and Singh, J. (2007). *Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab*. Energy Conversation and Management, 45, 453-65. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00155-9.

Snedecor, GW., and Cochran, WG. (1989). *Statistical methods*. Iowa State University Press.

Strapatsa, AV., Nanos, GD., and Tsatsarelis, CA. (2006). *Energy flow for integrated apple production in Greece*. Agriculture, Ecosystems & Environment. 116(3-4), 176-180. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.02.003.

Taghinjad, J., Vahedi, A. Ranjbar, F. (2018). *Economic analysis and evaluation of the pattern of energy consumption and the amount of greenhouse gas emissions in the production of water wheat in Ardabil province*. Environmental Science Quarterly. 17 (3): 137-150. (In Persian). https://doi.org/10.29252/envs.17.3.137.

Taheri Asal, A.R., Sadeghi, A. (2018). *Necessities and solutions to optimize energy consumption in the agricultural sector*. The 8th National Energy Conference. Tehran. (In Persian).

Tipi, T., Cetin, B. and Vardar, A. (2009). *An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey*. Journal of Agriculture Environment. 7(2): 352-356.

Ulusoy, E. (2007). *Objectives of agricultural techniques in changing conditions and conceptions. National Agricultural Mechanization Congress. Sanliurfa, Turkey*. Agricultural Ecosystem and Environment. 116: 176-180.

Vahedi, A. (2018a). *Evaluation of energy consumption and economic analysis of water wheat production in the country*. Cereal research. 9 (2): 115-128. (In Persian). https://doi.org/10.22124/c.2019.13193.1489.

Vahedi, A. (2018b). *Analysis and optimization of energy consumption in the production of water wheat by data envelopment analysis method (case study of Alborz province). Analysis and optimization of energy consumption in the production of water wheat by data envelopment analysis method (case study of Alborz province).* Mechanization and systems research. 20 (73): 173-192. (In Persian). https://doi.org/10.22092/erams.2019.125883.1306.

Yadi, A., Brari, D., and Mahmoudi, M. (2021). *Investigating the amount of energy consumption and the relationship between input and output energy in wheat crop production*. Two quarterly journals of plant agronomy. 11 (2): 59-74. (In Persian). https://doi.org/10.2./jpps.2022.691243.

Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A., Khoshbat, K., and Vaisi, H. (2018). *Energy efficiency study of wheat production ecosystems in Faryab Derkangavar*. The 11th Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding. August 2-4. Tehran. (In Persian).