University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 14, No. 1, Spring 2024 (29-43)
doi: 10.22124/CR.2024.26342.1803
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

Investigating energy consumption and global warming potential of direct rice cultivation under rain and drip irrigation systems

Mohammad Taghi Feyzbakhsh[1*] and Seyede Tayyebeh Hosseini[2]

1. Research Assistant Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran (* Corresponding author: feyz_54@yahoo.com)
2. Graduate Ph. D., Faculty of Water and Soil Engineering, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Excessive consumption of energy, especially fossil fuels, in the agricultural sector has led to the release of greenhouse gases and environmental pollutants, the most important of which are global warming and climate change. Analyzing energy flow and greenhouse gas emissions in agricultural ecosystems can help reduce environmental impacts by optimizing production operations.Comparing the energy efficiency of crops is one of the methods that can be used in prioritizing the cultivation of different crops in each region. In this study, the energy flow and global warming potential of direct rice cultivation method in dry bed under rain and drip irrigation methods were investigated.

Materials and methods

In this research, by interviewing different farmers (by completing a questionnaire in Gorgan city), required data was collected for machinery and consumables including seeds, fertilizers, fuel and poisons during growing seasen in the year of 2020. The reason for choosing these two methods is several similarities (including similar planting dates, agricultural operations and consumption of inputs) that exist in these two irrigation methods and the largest area of dry rice cultivation is done by these two methods. The variety cultivated in these farms was Fajr. To estimate the amount of energy consumption in consumables such as fertilizers, pesticides, insecticides, the amount of energy per gram of effective substance was multiplied by the relevant coefficients and their specific weight. Other calculations of energy consumption and global warming potential for inputs and outputs used in agricultural production and operations for each of the methods were done using coefficients obtained from different sources.

Research findings

The results of this study showed that the average input energy under rain and drip irrigation systems was 27.8 and 28.6 GJ per hectare, respectively. The highest percentage of input energy in the fields under rain and drip irrigation systems with 27 and 26.4% respectively was related to the use of nitrogen fertilizer and the lowest percentage in both irrigation methods was related to the use of fungicides with 014 percent. The amount of direct input energy in rain and drip irrigation methods was 7.2 and 8.8 GJ per hectare, respectively, while the share of indirect input energy in both irrigation methods (rain and drip) was order was 20.6 and 19.8 GJ/ha). Energy efficiency in rain and drip irrigation method was calculated as 7.3 and 9.2, respectively.Global warming potential was obtained from fields under rain and drip irrigation systems (1582.4 and 1764.7 kg CO_2 per hectare, respectively).

Conclusion

The results of the comparison between the input energy and global warming potential showed that there is a direct relationship between the input energy and global warming potential. The results indicated that the largest share of input energy in both irrigation methods was related to nitrogen fertilizer, irrigation and fuel consumption, which subsequently causes an increase in greenhouse gases. Based on the results of this research, it can be concluded that by reducing fuel consumption, increasing the efficiency of irrigation systems and optimal use of chemical fertilizers, energy consumption and greenhouse gas emissions can be reduced.

Keywords: Agricultural operations, Fuel, Indirect energy, Specific energy

Received: December 25, 2023 Accepted: April 20, 2024

Cite this article:

Fayazbakhsh, M. T., & Hosseini, S. T. (2024). Investigating energy consumption and global warming potential of direct rice cultivation under rain and drip irrigation systems. *Cereal Research*, *14*(1), 29-43. doi: 10.22124/CR.2024.26342.1803.

تحقیقات غلات
دوره چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳ (۴۳-۲۹)
doi: 10.22124/CR.2024.26342.1803
دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی
مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

بررسی انرژی مصرفی و پتانسیل گرمایش جهانی درکشت مستقیم برنج تحت سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای

محمد تقی فیض‌بخش[1*] و سیده طیبه حسینی[2]

۱- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران (* نویسنده مسئول: feyz_54@yahoo.com)
۲- دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده جامع

مقدمه: مصرف بی‌رویه انرژی به‌ویژه سوخت‌های فسیلی در بخش کشاورزی منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های زیست‌محیطی شده است که مهم‌ترین اثرات آن گرمایش جهانی و تغییر اقلیم است. تجزیه و تحلیل جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌تواند از طریق بهینه‌سازی عملیات تولید به کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک کند. مقایسه کارآیی انرژی گیاهان زراعی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند در اولویت‌بندی کشت گیاهان مختلف زراعی در هر منطقه به‌کار گرفته شود. در این مطالعه، سیر انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی تولید برنج به‌شیوه خشکه‌کاری تحت دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از طریق مصاحبه با کشاورزان مختلف (از طریق تکمیل پرسش‌نامه در محدوده شهرستان گرگان) اقدام به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از جمله ماشین‌آلات و نهاده‌های مصرفی شامل بذر، کود، سوخت و سموم شد. پرسش‌نامه‌ها طی فصل رشد در سال ۱۳۹۹ تکمیل شدند. دلیل انتخاب آبیاری بارانی و قطره‌ای تشابهات متعدد از جمله تاریخ کاشت مشابه، عملیات زراعی و مصرف نهاده‌ها است که در این دو روش آبیاری وجود دارد. رقم کشت شده در این مزارع رقم فجر بود. برای برآورد مقدار مصرف انرژی در نهاده‌های مصرفی مثل کود، آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها، میزان انرژی هرگرم ماده مؤثره در ضرایب مربوطه و وزن مخصوص آن‌ها ضرب شد. سایر محاسبات انرژی مصرفی و پتانسیل گرمایش جهانی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مورد استفاده در تولید و عملیات زراعی برای هر یک از روش‌ها با استفاده از ضرایب به‌دست آمده از منابع مختلف انجام شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین انرژی ورودی تحت سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر با ۲۷/۸ و ۲۸/۶ گیگاژول در هکتار بود. بیش‌ترین درصد انرژی ورودی در مزارع تحت سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب با ۲۷ و ۲۶/۴ درصد مربوط به مصرف کود نیتروژن و کم‌ترین درصد در هر دو روش آبیاری مربوط به مصرف قارچ‌کش‌ها به‌میزان ۰/۱۴ درصد بود. میزان انرژی ورودی مستقیم در روش آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر با ۷/۲ و ۸/۸ گیگاژول در هکتار به‌دست آمد، در حالی‌که سهم انرژی‌های ورودی غیرمستقیم در دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب ۲۰/۶ و ۱۹/۸ گیگاژول در هکتار بود. کارآیی انرژی در دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر با ۷/۳ و ۹/۲ و پتانسیل

گرمایش جهانی از مزارع تحت سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر با ۱۵۸۲/۴ و ۱۷۶۴/۷ کیلوگرم CO_2 در هکتار محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: مقایسه بین انرژی‌های ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن نشان داد که بین انرژی‌های ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن ارتباط مستقیمی وجود داشت. نتایج نشان داد که در هر دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای، بیش‌ترین سهم انرژی ورودی به‌ترتیب مربوط به کود نیتروژن، آبیاری و سوخت مصرفی بود که متعاقب آن باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با کاهش مصرف سوخت، افزایش کارآیی سیستم‌های آبیاری و استفاده بهینه از کودهای شیمیایی، می‌توان میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: انرژی غیرمستقیم، انرژی ویژه، سوخت، عملیات زراعی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱

نحوه استناد به این مقاله:

فیض‌بخش، محمد تقی، و حسینی، سیده طیبه. (۱۴۰۳). بررسی انرژی مصرفی و پتانسیل گرمایش جهانی درکشت مستقیم برنج تحت سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای. *تحقیقات غلات*، ۱۴(۱)، ۴۳-۲۹. doi: 10.22124/CR.2024.26342.1803

مقدمه

برنج یکی از مهم‌ترین گیاهان تابستانه در استان گلستان است. درآمد نسبتاً مناسب این محصول نسبت به گیاهان دیگر (ذرت، سویا و پنبه) دلیل اصلی رغبت کشاورزان برای کشت این محصول است. سطح زیر کشت برنج در استان گلستان طی سالیان اخیر از ۷۰ تا ۱۰۰ هزار هکتار در نوسان بوده و حدود ۶۰ درصد از این سطح زیر کشت به ارقام پرمحصول (فجر، ندا و شیرودی) اختصاص داشته است (Kiani *et al*., 2022). در سال‌های اخیر کشت مستقیم برنج (خشکه‌کاری) در بین کشاورزان رواج یافته است و در سال ۱۳۹۹ به هزار هکتار افزایش یافت. مشکل کم‌آبی، کاهش سطح ایستایی آب و کاهش نیروی کارگر در فصل کاشت از جمله دلایل گسترش کشت مستقیم برنج در بستر خشک (خشکه‌کاری) در استان گلستان است (Hosseini *et al*., 2022).

با توجه به بروز بحران انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی تمام تلاش‌ها بر آن است که مصرف انرژی تا حد ممکن کاهش یابد. بخش کشاورزی نیز از این موضوع مستثنی نیست. در بیش‌تر کشورهای پیشرفته و حتی در حال توسعه، انرژی وارد شده در سطح برای تولید محصولات مختلف کشاورزی را بررسی و با محاسبه شاخص کارآیی انرژی سعی کرده‌اند نظام‌های کشاورزی خود را از نظر مصرف انرژی بهینه کنند (Feyzbakhsh & Alizadeh, 2018). مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید برنج به‌روش سنتی یکی از مشکلات جدی توسعه این گیاه در جهان است (Monaco *et al*., 2016). استفاده از روش‌های کشت با مصرف آب کم‌تر و نهاده‌های کشاورزی نظیر کشت بذر در بستر خشک (خشکه‌کاری) می‌تواند راه حل مناسبی برای این مشکل باشد. بررسی سیر انرژی در سیستم‌های تولید کشاورزی مزایای زیادی دارد و محققان جهت بررسی تولید محصولات کشاورزی در ارتباط با انرژی ورودی تحقیقات زیادی انجام داده‌اند (Franzluebbers & Francis, 1995; Ozkan *et al*., 2004; Zentner *et al*., 2004; Soltani *et al*., 2009; Ghorbani *et al*., 2011; Yousefi *et al*., 2012).

باساوالینگایا و همکاران (Basavalingaiah *et al*., 2020) به بررسی تعیین الگوی استفاده از انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان بهره‌مندی از مزارع برنج در سیستم های تولیدی کشت نشایی و مستقیم برنج در هند پراختند. یافته‌های آنان نشان داد که استفاده از ورودی انرژی تجدیدناپذیر برای کشت نشایی (۹۲/۴ گیگاژول در هکتار) در مقایسه با روش خشکه‌کاری (۶۰/۳ گیگاژول در هکتار) بیش‌تر و کاهش میزان کارآیی انرژی (۷/۳) و بهره وری انرژی (۰/۳ کیلوگرم بر مگاژول) به‌دلیل کاهش بیش‌تر انرژی ورودی تحت سیستم کشت مستقیم بذر برنج بود. پیشگار کومله و همکاران (Pishgar-Komleh *et al*., 2011) انرژی مصرفی تولید برنج ارقام کیفی در استان گیلان را ارزیابی و کارآیی انرژی را ۱/۵۳ برآورد کردند. آن‌ها نشان دادند که ورودی و خروجی انرژی مورد نیاز تولید برنج به‌ترتیب، ۳۹۳۳۳ مگاژول بر هکتار و ۶۰۳۴۱ مگاژول بر هکتار بود و انرژی سوخت با ۴۶ درصد و بعد از آن کود شیمیایی با ۳۶ درصد، بیش‌ترین سهم را در مصرف انرژی داشتند. دستان و همکاران (Dastan *et al*., 2014) انتشار دی‌اکسید کربن و پتانسیل گرمایش جهانی (Global warming potential) ناشی از مصرف انرژی در نظام‌های کاشت شالیزاری را در شهرستان نکا بررسی و بیان کردند که کم‌ترین انرژی ورودی برابر با ۱۶۱۰۳ مگاژول در هکتار در نظام کاشت حفاظتی بود. بیش‌ترین سهم انرژی ورودی در نظام‌های تولید نیز مربوط به نیروی برق برای پمپ کردن آب آبیاری بود و بالاترین مقدار از نظر انتشار دی‌اکسیدکربن و پتانسیل گرمایش جهانی را نیز به‌خود اختصاص داد.

کاظمی و همکاران (Kazemi & Zare, 2014) الگوی مصرف انرژی برای تولید برنج در مناطق مختلف جغرافیایی استان‌های شمالی (گلستان، مازندران و گیلان) را مقایسه و تفاوت معنی‌داری بین سه استان از نظر انرژی ورودی و مدیریت‌های زراعی مانند تناوب زراعی، تاریخ نشا و آماده‌سازی زمین مشاهده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تفاوت اصلی بین مصرف انرژی در سه استان ناشی از سوخت دیزل، کودهای شیمیایی و الکتریسیته بود. مطالعات یوآن و پنک (Yuan & Peng, 2017) در زمینه کشت برنج نشایی به‌روش کم‌نهاده در چین نیز نشان داد که انرژی ورودی و خروجی به‌ترتیب ۲۵۴۴۱ و ۲۳۴۳۹۳ مگاژول در هکتار و عملکرد دانه برنج ۸۴۴۹ کیلوگرم در هکتار بود. بررسی شاخص‌های انرژی تولید شلتوک برنج نیز نشان داد که متوسط کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص در روش کشت معمول به‌ترتیب ۷/۷۷، ۰/۲۷ کیلوگرم بر مگاژول، ۳/۷۶ مگاژول بر کیلوگرم و ۲۳۲۲۰۰/۵ مگاژول بر هکتار و در

روش کشت کم‌نهاده به‌ترتیب ۹/۲۵، ۰/۳۳ کیلوگرم بر مگاژول، ۳/۰۱ مگاژول بر کیلوگرم و ۲۰۸۹۵۱/۵ مگاژول بر هکتار بود. بررسی ورودی‌های انرژی و الگوهای مصرفی برای سیستم تولید برنج در نیجریه نیز نشان داد که نسبت انرژی در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به‌ترتیب ۶/۵۸، ۷/۰۷ و ۷/۶۲ بود. مزارع بزرگ به‌دلیل مدیریت بهتر منابع انرژی، بهره‌وری انرژی بهتری داشتند (Kosemani & Bamgboye, 2020).

با توجه به بحران خشک‌سالی در سال‌های اخیر، کشت مستقیم بذر در بستر خشک (خشکه کاری) در بین کشاورزان استان گلستان افزایش یافته است. در این مطالعه، سیر انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی تولید برنج به شیوه خشکه‌کاری در شهرستان گرگان بر اساس دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این بررسی دو روش آبیاری (بارانی و قطره‌ای) در کشت مستقیم برنج در بستر خشک (خشکه‌کاری) در سال ۱۳۹۹ انتخاب شد. دلیل انتخاب این دو روش تشابهات متعدد (از جمله تاریخ کاشت مشابه، عملیات زراعی و مصرف نهاده‌ها) است که در این دو روش آبیاری وجود دارد و بیش ترین سطح کشت خشکه‌کاری برنج به‌همین دو روش انجام می شود. در روش آبیاری قطره‌ای از نوارهای تیپ جهت آبیاری استفاده می‌شود. این پژوهش بر اساس سرشماری انجام شد و حجم نمونه در روش بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب ۹ و ۱۲ مزرعه بود. همچنین از طریق مصاحبه با کشاورزان (از طریق تکمیل پرسش‌نامه) داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری شد.

در هر دو روش، آماده‌سازی بستر خاک با دیسک انجام و پس از آن کشت با استفاده از خطی‌کار غلات انجام شد. استقرار سیستم آبیاری مزارع در هر دو روش پس از کشت مزرعه صورت گرفت و در ادامه آبیاری بر اساس نیاز گیاه و شرایط جوی در دفعات مختلف در مزارع انجام شد. وسعت مزارع مورد بررسی نیم تا پنج هکتار متغیر بود. رقم کشت شده در این مزارع رقم فجر بود. اطلاعات هواشناسی طی فصل رشد برنج در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات هواشناسی، بیشینه متوسط حداقل و حداکثر دما طی ماه‌های خرداد، تیر و مرداد بود که مصادف با حداکثر رشد و زمان گلدهی برنج در شهرستان گرگان است.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی فصل رشد برنج در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان در سال زراعی ۱۳۹۹

Table 1. Meteorological perameters of rice growing season in the Gorgan Agricultural Research Station in 2020

Month	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Solar radiation ($Mj.m^{-2}$)	Relative humidity (%)	Total precipitation (mm)
April	8.5	17.6	12.9	77	64
May	13.9	25.6	18.2	55.7	39.8
June	19.4	33.7	24.8	35	2.04
July	22.6	34.5	24.3	52.1	18.4
August	23.5	33.1	20	43.3	4.09
September	19.8	31.2	20.4	49.3	13.5

داده‌های به‌دست آمده شامل ماشین‌آلات و همچنین نهاده‌های مصرفی شامل بذر، کود، سوخت و سموم در دو محصول بود. پس از این مرحله داده ها توسط نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ در سه بخش مصرف سوخت، انرژی سوخت مصرفی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از انتشار گاز های گلخانه‌ای بر مبنای معادل دی‌اکسید کربن محاسبه شد. مقدار مصرف سوخت ماشین‌آلات به‌تفکیک عملیات زراعی برآورد شد. میزان سوخت مصرفی (FT) با استفاده از رابطه (۱) به‌دست آمد (Soltani *et al*., 2013):

$$FT = T \times FH \qquad (1)$$

که در آن، FH مدت زمان کارکرد ماشین‌آلات بر حسب ساعت در هکتار و T سوخت مورد نیاز یک ساعت کار ماشین‌آلات بر حسب لیتر در ساعت است.

همچنین، با توجه به برقی بودن چاه ها، میزان انرژی مصرفی بر اساس مدت زمان کارکرد الکتروپمپ بر حسب ساعت در هکتار به‌دست آمد و میزان مصرف انرژی در بخش آبیاری بر اساس میزان مصرف الکتریسیته در هر نوبت آبیاری محاسبه شد.برای برآورد مقدار مصرف انرژی در نهاده‌های مصرفی مثل کود، آفت‌کش‌ها و حشره‌کش ها، میزان انرژی هر گرم ماده مؤثره در ضرایب مربوطه و وزن مخصوص آن‌ها ضرب شد. سایر انرژی های مصرفی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مورد استفاده در تولید و عملیات

زراعی در هر یک از روش‌ها با استفاده از ضرایب به‌دست آمده از منابع مختلف (جدول ۲) محاسبات شد.

با برآورد کل انرژی‌های ورودی و خروجی، شاخص های ارزیابی انرژی شامل نسبت یا کارآیی انرژی (ER) که عددی بدون واحد است، بهره‌وری انرژی (EP) بر حسب مگاژول بر کیلوگرم، انرژی ویژه (SE) بر حسب مگاژول بر کیلوگرم و انرژی خالص (NEY) بر حسب مگاژول در هکتار با استفاده از روابط (۲) تا (۵) محاسبه شدند (Soltani *et al*., 2013; Kazemi & Zare, 2014):

$$ER = \frac{EO}{EI} \quad (۲)$$

$$EP = \frac{GY}{EI} \quad (۳)$$

$$SE = \frac{EI}{GY} \quad (۴)$$

$$NEY = EO - EI \quad (۵)$$

در این روابط، EO مجموع انرژی خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار)، EI مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) و GY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) هستند.

برای محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی در مرحله اول از نتایج محاسبه انرژی در هر یک از عملیات زراعی انجام شده استفاده شد. سپس با به کارگیری ضرایب تولید گاز های CO_2، N_2O و CH_4 به‌ترتیب معادل ۱، ۳۱۰ و ۲۱ کیلوگرم CO_2، کل گازهای گلخانه‌ای به‌صورت معادل CO_2 (جدول ۳) محاسبه شدند (Khoshnevisan *et al*., 2013). در پایان مقدار GWP در چهار مقیاس زیر محاسبه شد (Soltani *et al*., 2013):

۱- واحد سطح: مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در واحد سطح (هکتار).

۲- واحد وزن: از تقسیم مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار تولید محصول برنج (شلتوک و کاه و کلش) بر حسب تن در هکتار، پتانسیل گرمای جهانی برای تولید هر تن محصول برنج یا به عبارتی معدل وزنی به‌دست آمد.

۳- واحد انرژی ورودی: از تقسیم مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار انرژی ورودی (گیگاژول در هکتار)، معادل گرمایشی جهانی بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 بر گیگاژول انرژی مصرفی محاسبه شد.

۴- واحد انرژی خروجی: از تقسیم مقدار GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار انرژی خروجی (گیگاژول در هکتار)، معادل گرمایشی جهانی بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 بر گیگاژول انرژی تولیدی محاسبه شد.

جدول ۲- معادل‌های انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مورد استفاده در زراعت برنج

Table 2. Energy equivalent of inputs and outputs in rice cultivation

Unit	Energy equivalent (MJ.unit^{-1})	Reference
Input		
Human labor (h)		
Men	1.96	Akcaoz *et al*., 2009
Women	1.54	Akcaoz *et al*., 2009
Machinery (kg)	142.7	Kaltsas *et al*., 2007
Gasoline (lit)	38	Rajabi *et al*., 2012
Seed (kg)	14.7	Ozkan *et al*., 2004
Chemical poisons (kg)		
Herbicides	287	Rathke *et al*., 2007
Fungicide	196	Deike *et al*., 2008
Pesticide	237	Rathke *et al*., 2007
Chemical fertilizers (kg)		
Nitrogen (N)	60.6	Ozkan *et al*., 2004; Akcaoz *et al*., 2009
Phosphor (P_2O_5)	11.1	Ozkan *et al*., 2004; Akcaoz *et al*., 2009
Petasium (K_2O)	6.7	Ozkan *et al*., 2004; Akcaoz *et al*., 2009
Sulfur	1.12	Ozkan *et al*., 2004; Akcaoz *et al*., 2009
Zinc	8.4	Ozkan *et al*., 2004; Akcaoz *et al*., 2009
Electricity (KWh)	12.1	Ozkan *et al*., 2004
Pressure irrigation	1.02	Acaroglu, 1998
Output		
Straw (kg)	12.5	Ozkan *et al*., 2004
Paddy (kg)	14.7	Ozkan *et al*., 2004

جدول ۳- ضرایب گازهای گلخانه‌ای برای نهاده‌های ورودی (Khoshnevisan *et al*., 2013)

Table 3. Greenhouse gas emission coefficients for each input (Khoshnevisan *et al*., 2013)

Input	Unite	Conversion factor (kg CO_2 per unit)
Fuel	Litter	2.76
Machinery	Megajoule	0.071
Nitrogen	Kilogram	1.3
Potassium	Kilogram	0.2
Phosphorus	Kilogram	0.2
Herbicide	Kilogram	6.3
Pesticide	Kilogram	5.1
Fungicide	Kilogram	3.9
Electricity	Kilowatt hours	0.608

نتایج

نوع نهاده‌های مصرفی و میانگین مصرف آن‌ها به‌همراه میانگین شلتوک و کاه و کلش تولیدی در سطح یک هکتار برای دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای در جدول ۴ و همچنین مقادیر انرژی‌های ورودی و خروجی در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که نیروی کارگری صرف شده در روش آبیاری بارانی (۴۵۱ ساعت در هکتار مرد و ۷۳ ساعت در هکتار زن) بیش‌تر از روش آبیاری قطره‌ای (۴۳۳ ساعت در هکتار مرد و ۷۸/۵ ساعت در هکتار زن) بود (جدول ۴). همچنین، بیش‌ترین انرژی ورودی در دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب با ۲۷/۰۹ و ۲۶/۳ درصد مربوط به مصرف کود نیتروژن بود و پس از آن انرژی مربوط به آب آبیاری و سوخت در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (جدول ۵). بر اساس نتایج، میزان انرژی ورودی در دو روش آبیاری تفاوت چندانی نداشت و عمده اختلاف بین این دو روش آبیاری مربوط به حجم و میزان آب مصرفی جهت آبیاری بود که انرژی لازم برای پمپاژ در روش آبیاری بارانی را افزایش داد (جدول ۵). بررسی انرژی خروجی مزارع تولید برنج نیز نشان داد که میزان محصول خروجی و در نتیجه میزان انرژی خروجی در سطح یک هکتار به‌طور متوسط در روش آبیاری قطره‌ای (۲۶۴۸۱۰ مگاژول در هکتار) بیش‌تر بود.

جدول۴- مقادیر نهاده‌های مختلف برای تولید برنج به‌روش کشت مستقیم در بستر خشک در شهرستان گرگان (استان گلستان)

Table 4. Amounts of different inputs for rice production by direct seeding cultivation method in dry bed in Gorgan, Golestan province, Iran

Energy type	Rain irrigation	Drip irrigation
Input		
Female worker ($h.ha^{-1}$)	73	78.5
Male worker ($h.ha^{-1}$)	451	433
Machinery (kg)	124	124
Gasoline (lit)	123	123
Transportation (km)	5	5
Seed ($kg.ha^{-1}$)	60	60
Chemical poisons (kg)		
Herbicide	3.58	3.58
Fungicide	0.52	0.52
Pesticide	4.49	4.49
Chemical fertilizers (kg)		
Nitrogen (N)	270	270
Phosphours (P_2O_5)	208	208
Potasium (K_2O)	197	197
Electrisity (kwh)	12.5	125
Irrigation (m^3)	7229	6388
Output		
Straw3 ($kg.ha^{-1}$)	13441	16025
Paddy ($kg.ha^{-1}$)	2419	4387
Total outputs ($kg.ha^{-1}$)	15861	20412

جدول ۵- مقادیر انرژی‌های ورودی و خروجی (مگاژول در هکتار) برای یک هکتار شالیکاری

Table 5. Amount of energy inputs and outputs ($MJ.ha^{-1}$) for one hectare paddy field

Energy type	Rain irrigation		Drip irrigation	
	Avrage	Percentage	Avrage	Percentage
Input				
Human labor	1029.6	3.7	1002.9	3.51
Machinery	1931.3	6.93	1931	6.75
Gasoline	4677.8	16.78	4678.4	16.35
Transportation	224.7	0.81	224.7	0.78
Seed	882	3.16	882	3.08
Chemical poisons				
Herbicides	267.7	1.68	267.7	1.63
Fungicides	38.7	0.14	38.7	0.14
Pesticides	469.9	1.69	469.9	1.64
Chemical fertilizers				
Nitrogen (N)	7549.7	27.09	7549.7	26.4
Phosphours (P_2O_5)	1063.7	3.82	1063.7	3.7
Potasium (K_2O)	636.5	2.28	636.5	2.2
Electrisity	1512.5	5.43	3146	11
Irrigation	7373.7	26.4	6516.7	22.8
Tottaly inputs	27871.8	100	28607.9	100
Output				
Straw	168024	75.6	200314	82.5
Paddy	35563.7	24.4	64496.3	17.4
Tottaly outputs	203587	100	264810	100

مقدار انرژی مصرفی در روش‌های مختلف به دو بخش انرژی مصرفی مستقیم و غیرمستقیم تفکیک و برآورد شد. در بخش انرژی مصرفی مستقیم نیز انرژی سوخت مصرفی عملیات زراعی، نیروی انسانی و انرژی مورد نیاز برای آبیاری (الکتریسیته) محاسبه و در جدول ۶ ارائه شد. میزان انرژی ورودی مستقیم در روش آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر با ۷/۲ و ۸/۸ گیگاژول در هکتار به‌دست آمد. این در حالی بود که سهم انرژی‌های ورودی غیرمستقیم در هر دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب ۲۰/۶ و ۱۹/۸ گیگاژول در هکتار بود. بررسی میزان انرژی‌های تجدیدپذیر (نیروی انسانی و انرژی بذر) و تجدیدناپذیر (سوخت، الکتریسیته، کود، ماشین‌آلات، حمل و نقل، حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها) نیز نشان داد که بیش‌ترین انرژی در هر دو روش کشت مربوط به انرژی تجدیدناپذیر بود (جدول ۶).

شاخص‌های کارآیی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و عملکرد انرژی خالص در تولید شلتوک برنج به‌تفکیک برای دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای در جدول ۶ ارائه شده است. کارآیی انرژی در روش آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر با ۷/۳ و ۹/۲ محاسبه شد. به‌عبارت دیگر راندمان انرژی در روش آبیاری قطره‌ای بیش‌تر بود و این امر به‌دلیل عملکرد بالاتر شلتوک در این روش آبیاری بود (جدول ۶). با توجه به نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین بهره‌وری انرژی برای سیستم آبیاری قطره‌ای (۰/۱۵ کیلوگرم بر مگاژول) به‌دست آمد. در مقابل، انرژی ویژه کم‌تر در روش آبیاری قطره‌ای (۶/۵) نسبت به آبیاری بارانی (۱۱/۵) نشان داد که انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد دانه در روش آبیاری قطره‌ای کم‌تر است، اما انرژی خالص که مقدار انرژی خالص به‌دست آمده از مزارع را نشان می‌دهد، در روش آبیاری قطره‌ای بیش‌تر از آبیاری بارانی (به‌ترتیب ۲۳۶/۲ و ۱۷۵/۷ گیگاژول در هکتار) بود.

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر هکتار بر حسب کیلوگرم CO_2 منتشر شده در جو برای دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای در جدول ۷ ارائه شده است. مقایسه مقادیر GWP بر حسب واحد سطح (هکتار) در این مطالعه نشان داد که تولید برنج با روش آبیاری قطره‌ای سهم بیش‌تری در GWP نسبت به روش آبیاری بارانی (به‌ترتیب ۱۷۶۴/۷ و ۱۵۸۲/۳ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) داشت. مقادیر GWP بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار ناشی از فعالیت‌های مختلف نشان داد که در هر دو روش آبیاری، بیش‌ترین سهم از کل پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) مربوط به کود نیتروژن (۵۴۹/۷

کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) بود، و کم‌ترین GWP مربوط به کود پتاسیم (۵۲/۲ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) بود (جدول ۷). همچنین، مقدار GWP در دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب برابر با ۹۹/۷ و ۸۶/۴ کیلوگرم CO_2 در تن بود (جدول ۸). پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی خروجی در روش آبیاری بارانی و قطره‌ای نیز به‌ترتیب برابر با ۶/۶ و ۷/۷ کیلوگرم CO_2 در گیگاژول برآورد شد (جدول ۸).

جدول ۶- شاخص‌های مختلف انرژی به‌دست آمده از مزارع خشکه‌کاری برنج در شهرستان گرگان

Table 6. Different energy indices derived from direct seeding cultivation in dry bed in Gorgan.

Different energy indices	Rain irrigation	Drip irrigation
Input		
Direct input energy (GJ.ha^{-1})	7.2	8.8
Indirect input energy (GJ.ha^{-1})	20.6	19.8
Non-renewable energy (GJ.ha^{-1})	25.9	26.7
Renewable energy (GJ.ha^{-1})	1.9	1.8
Total input energy (GJ.ha^{-1})	27.8	28.6
Output		
Output energy (GJ.ha^{-1})	203.5	264.8
Ouput/input ratio	7.3	9.2
Energy productivity (T.GJ $^{-1}$)	0.086	0.15
Specific energy (GJ.t^{-1})	11.5	6.5
Net energy (GJ.ha^{-1})	175.7	236.2

جدول ۷- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب کیلوگرم CO_2 در هکتار برای تولید برنج در شهرستان گرگان

Table 7. Greenhouse gas emission (kg CO_2 .ha^{-1}) for rice production in Gorgan

Input	Rain irrigation	Drip irrigation
Agricultural inputs		
Nitrogen fertilizer	549.7	549.7
Phosphorus fertilizer	87.2	87.2
Potassium fertilizer	52.2	52.2
Pesticides	100.4	100.4
Production and maintenance equipment and machinery	241.6	341.5
Transportation	17.5	17.5
Fuel		
For opration	364.8	264.9
For irrigation	168.8	351.2
Total GWP	1582.3	1764.7

جدول ۸- پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی در مزارع برنج شهرستان گرگان

Table 8. Global warming potential (GWP) per unit area, weight, input energy and output energy in rice of nnnnnGorgan

Input	Rain irrigation	Drip irrigation
Per unit area (kg eq-CO_2 .ha^{-1})	1582.4	1764.7
Per unit weight (kg eq-CO_2 .ton^{-1})	99.7	86.4
Per unit energy input (kg eq-CO_2 .GJ^{-1})	56.7	61.6
Per unit energy output (kg eq-CO_2 .GJ^{-1})	7.7	6.6

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که نیروی کارگری صرف شده در روش آبیاری بارانی به‌دلیل جابه‌جایی لوله‌های آبیاری بیش‌تر از روش آبیاری قطره‌ای بود. طبق مطالعات انجام شده، استفاده از روش کشت مستقیم برنج، علاوه بر این‌که سختی کار را کاهش می‌دهد، بسته به فصل، محل و نوع کشت، هزینه و نیروی کارگری مورد نیاز در مرحله کاشت را نسبت به کشت مرسوم (کشت نشایی) نیز تا حدود زیادی کاهش می‌دهد (Kiani *et al*., 2022). طبق گزارش حسینی و همکاران (Hosseini *et al*., 2022)

نشاکاری هر هکتار برنج به‌روش سنتی به ۲۳۵ نفر ساعت نیروی کارگری نیاز دارد، در حالی‌که در روش خشکه‌کاری، نیروی کارگری جهت عملیات گل‌خرابی، انتقال و کشت نشا در مزرعه حذف می‌شود.

نتایج نشان داد که مصرف آب آبیاری در روش آبیاری بارانی نیز بیش‌تر از روش قطره‌ای بود که دلیل عمده آن کارآیی کم‌تر این روش آبیاری است. صرفه‌جویی در آب ورودی به‌میزان ۵۷-۳۵ درصد برای کشت مستقیم بذر برنج گزارش شده است (Sharma *et al*., 2002; Singh *et al*., 2002). نتایج جات و همکاران (Jat *et al*., 2009) نیز نشان داد که میزان آب ورودی (آبیاری به‌همراه بارندگی) در کشت مستقیم بذر برنج ۹ تا ۲۴ درصد کم‌تر از کشت نشایی برنج است. همچنین، چوهان و اوپنا (Chauhan & Opeña., 2012) گزارش کردند که گل‌خرابی در سیستم غرقابی برنج نشایی تا ۳۰ درصد از کل آب مورد نیاز برنج را مصرف می‌کند.

بسیاری از کشاورزان معتقد هستند که استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد می‌شود و بنابراین، بدون در نظر گرفتن سایر شرایط اقدام به مصرف کود نیتروژن می‌کنند. این در حالی است که میزان مصرف کود نیتروژن باید بر اساس آزمون خاک باشد. گزارش جو و همکاران (Guo *et al*., 2010) نشان می‌دهد که از سال ۱۹۸۰ کود اوره به‌طور وسیعی در مزارع کشاورزی استفاده می‌شود. استفاده از کود اوره زیاد باعث اسیدی شدن خاک می‌شود (Vitousek *et al*., 2009; Guo *et al*., 2010). در بسیاری از گزارش‌ها، بیش‌ترین انرژی ورودی به مزارع مربوط به کودهای شیمیایی از جمله کود نیتروژن اعلام شده است. استفاده از الگوی کشت بهینه و تناوب زراعی مناسب، استفاده از ریزجانداران آزادکننده عناصر غذایی، کود دامی، کود سبز و کودهای آلی می‌توانند به کاهش وابستگی بوم‌نظام‌های کشاورزی به نهاده‌های شیمیایی کمک کنند. در مطالعه اسکندری چراتی و همکاران (Eskandari Cherati *et al*., 2011) نیز مقدار انرژی کود نیتروژن در کشت برنج معادل با ۶۹۶۹ مگاژل در هکتار برآورد شد که بیش‌تر از کود فسفر (۲۸۶/۳ مگاژول در هکتار) و کود پتاسیم (۳۵۵ مگاژول در هکتار) بود. همچنین در مطالعه منصوری و همکاران (Mansoori *et al*., 2012) مقدار انرژی کود نیتروژن با ۱۱۵۱۴ مگاژول در هکتار بیش‌تر از دو کود فسفر (۱۰۱۴/۵ مگاژول در هکتار) و پتاسیم (۳۷۶/۵ مگاژول در هکتار) گزارش شد.

وان و همکاران (Wan *et al*., 2005) نیز انرژی ورودی در کشت برنج را معادل ۱۲۴۰۰ مگاژول در هکتار گزارش کردند و بیان داشتند که سهم عمده انرژی ورودی مربوط به کودهای شیمیایی (۷۷۰۰ مگاژول در هکتار) و پس از آن مربوط به آب آبیاری و سوخت بود. انرژی سوخت مصرف شده در عملیات‌های مختلف کشاورزی در گیاهان زراعی و کشورهای مختلف از نظر مقدار و نوع سوخت متفاوت است. این موضوع به‌علت شرایط اقلیمی و زراعی متفاوت این کشورها می‌باشد. اصولاً پیروی از نظام‌های کشاورزی پایدار و رعایت اصول کم‌خاک‌ورزی از جمله کاهش شدت خاک‌ورزی، استفاده از گاوآهن‌های قلمی و کاهش تعداد عملیات دیسک در مزرعه، می‌تواند از راه‌کارهای کاهش مصرف بالای سوخت درکشاورزی باشد (Kazemi & Zare, 2014). با توجه به مطالعات پیشگار کومله و همکاران (Pishgar-Komleh *et al*., 2011) میزان مصرف انرژی در تولید برنج در استان گیلان ۳۹۳۳۳ مگاژول بر هکتار بود که ۴۶ درصد آن مربوط سوخت دیزل و ۳۶ درصد مربوط به کودهای شیمیایی بود. نتایج مطالعات چوادری و همکاران (Chaudhary *et al*., 2017) در هند نیز نشان داد که نهاده‌های آب آبیاری و کودهای شیمیایی، درصد بالاتری از انرژی ورودی را در سیستم تولید برنج دارند.

بالی و اوپال (Bali & Uppal, 1999) اثر دورهای آبیاری را بر عملکرد دانه برنج مورد ارزیابی قرار دادند و میزان عملکرد دانه برنج را تحت دو رژیم آبیاری دو و چهار روزه به ترتیب ۲/۴۵ و ۲/۰۷ تن در هکتار گزارش کردند. نتایج تحقیقات بومن و تونگ (Bouman & Tuong, 2001) نیز نشان داد که بیش‌تر فن‌آوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری از جمله کشت برنج هوازی، منجر به از دست دادن عملکرد دانه برنج می‌شوند. بلدر و همکاران (Belder *et al*., 2005)) نیز نشان دادند که عملکرد برنج در صورت کاربرد کود نیتروژن، تحت شرایط هوازی کم‌تر از عملکرد تحت شرایط آبیاری (غرقاب) بود.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیش‌ترین انرژی مصرفی در هر دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای مربوط به انرژی‌های تجدیدناپذیر بود. محققان زیادی از جمله رن و همکاران (Ren *et al*., 2012) و فیض‌بخش و سلطانی (Feyzbakhsh & Soltani, 2013) نیز گزارش کردند که سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در مزارع کشاورزی بیش‌تر از انرژی‌های تجدیدپذیر است. بنابراین لازم است

تحقیقاتی در زمینه افزایش سهم انرژی‌های قابل تجدید صورت گیرد تا سهم انرژی‌های ورودی در تولید گازهای گلخانه‌ای کاهش یابد. مقایسه کارآیی انرژی دو روش آبیاری مطالعه شده در این تحقیق نشان داد که کارآیی انرژی در روش آبیاری قطره‌ای بیش‌تر از آبیاری بارانی بود که این امر به‌دلیل عملکرد بالاتر شلتوک در این روش آبیاری بود (جدول ۶). مطالعات باساوالینگایا و همکاران (Basavalingaiah *et al*., 2020) در زمینه مقایسه شاخص‌های انرژی در سیستم‌های کشت نشایی و کشت مستقیم بذر برنج در هند نشان داد که بیش‌ترین میزان کارآیی انرژی (۷/۳) و بهره‌وری انرژی (۰/۳ کیلوگرم بر مگاژول) به‌دلیل کاهش بیش‌تر انرژی ورودی تحت سیستم کشت مستقیم بذر برنج بود.

مقایسه مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) بر اساس واحد سطح (هکتار) در این مطالعه نشان داد که یک هکتار شالیکاری در روش آبیاری قطره‌ای سهم بیش‌تری (۱۷۶۴/۷۳ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) را در GWP نسبت به روش آبیاری بارانی داشت (جدول ۷). دلیل عمده کاهش میزان پتانسیل گرمایش جهانی در این مطالعه تغییر سیستم کشت نشایی به خشکه‌کاری است. بیش‌ترین سهم از کل پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) مربوط به کود نیتروژن (۵۴۹/۷۳ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) بود و این مقدار در هر روش آبیاری یکسان بود. کم‌ترین GWP در هر دو روش آبیاری نیز مربوط به کود پتاسیم (۵۲/۱۹ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) بود. در مجموع، مقدار کل GWP در آبیاری بارانی ۱۵۸۲/۳۶ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار و در آبیاری قطره‌ای ۱۷۶۴/۷۳ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود. مقایسه مقادیر GWP بر اساس واحد وزن عملکرد محصول در هکتار برای دو روش آبیاری نیز نشان داد که تفاوت قابل توجهی بین این دو روش آبیاری وجود نداشت، به‌طوری که مقدار GWP در آبیاری بارانی ۹۹/۷ کیلوگرم CO_2 در تن و در روش آبیاری قطره‌ای برابر ۸۶/۴ کیلوگرم CO_2 در تن بود. از نظر مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی خروجی نیز دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب سبب انتشار ۶/۶ و ۷/۷ کیلوگرم CO_2 در گیگاژول پتانسیل گرمایش جهانی شدند. همچنین، از نظر مقادیر GWP بر اساس واحد انرژی ورودی بین روش آبیاری بارانی و قطره‌ای اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). نتایج مطالعه پاتاک و واسمن (Pathak & Wassmann, 2007) در هند نشان داد که پتانسیل گرمایش جهانی برای محصول برنج بین ۲۷۶۶-۴۰۵۴ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود. دستان و همکاران (Dastan *et al*., 2015) نیز در آزمایشی که با هدف تخمین ردپای کربن و گرمایش جهانی در نظام‌های تولید رایج، بهبودیافته و حفاظتی برنج انجام دادند، بیان کردند که متوسط GWP در سه نظام کاشت مورد اشاره برابر با ۲۸۰۳/۲۵ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که در هر دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای، بیش‌ترین سهم انرژی ورودی مربوط به کود نیتروژن، آبیاری و سوخت مصرفی بود. همچنین، نتایج ارزیابی پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی نیز نشان داد که شیوه کشت مستقیم بذر برنج در بستر خشک (خشکه‌کاری) در مقایسه با کشت نشایی می‌تواند روش مناسبی برای کشت برنج جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی کشت برنج باشد. بنابراین، به‌منظور کاهش مصرف سوخت در تولید برنج به‌روش خشکه‌کاری، بهتر است استفاده از ماشین آلات چندکاره و سیستم‌های کشت حفاظتی (حداقل خاک‌ورزی) مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این، از آنجایی که میزان انرژی مصرفی در قسمت کود مصرفی زیاد است، لزوم بررسی و تحقیق جهت کشت‌های تناوبی و استفاده از گیاهانی که قادر به تثبیت نیتروژن هستند، آشکار می‌شود. در مجموع با توجه به نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌شود با بهبود عملیات مدیریت زراعی، استفاده بهینه از کودها و کنترل آفات و بیماری‌ها، عملکرد در واحد سطح را افزایش داد و با افزایش عملکرد، کارایی انرژی یعنی نسبت انرژی تولیدی به مصرفی را بهبود بخشید.

سپاسگزاری

نویسندگان از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان بابت حمایت و کمک در گردآوری داده‌ها کمال تشکر و قدردانی را دارند.

تضاد منافع

نویسندگان تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هرگونه روابط تجاری یا مالی می‌تواند به عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسندگان اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تاکنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده است و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسندگان با چاپ این مقاله به‌صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Acaroglu, M. (1998). Energy from Biomass, and Applications. University of Selcuk, Graduate School of Natural and Applied Sciences. Textbook.

Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., & Kizilay, H. (2009). Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, *7*, 475-480.

Bali, A. S., & Uppal, H. S. (1999). Irrigation schedule in producing quality basmati rice (*Oryza sativa*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, *69*(5), 325-328.

Basavalingaiah, K., Ramesha, Y. M., Paramesh, V., Rajanna, G. A., Lal Jat, Sh., Misra, S., Gaddi, Girisha, H. C., Yogesh, G. S., Raveesha, S., Roopa, T. K., Shashidhar, K. S., Kumar, B., El-Ansary, D. O., & Elansary, H. O. (2020). Energy budgeting, data envelopment analysis and greenhouse gas emission from rice production system: A case study from puddled transplanted rice and direct-seeded rice system of Karnataka, India. *Sustainability*, *12*(16), 6439. doi: 10.3390/su12166439.

Belder, P., Bouman, B. A. M., Spiertz, J. H. J., Peng, S., Castaneda, A. R., & Visperas, R. M. (2005). Crop performance, nitrogen and water use in flooded and aerobic rice. *Plant & Soil*, *273*, 167-182. doi: 1007/s11104-004-7401-4.

Bouman, B. A. M., & Tuong, T. P. (2001). Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management*, *49*(1), 11-30. doi: 10.1016/S0378-3774(00)00128-1.

Chaudhary, V. P., Singh, K. K., Pratibha, G., Bhattacharyya, R., Shamim, M., Srinivas, I., & Patel, A. (2017). Energy conservation and greenhouse gas mitigation under different production systems in rice cultivation. *Energy*, *130*, 307-317. doi: 10.1016/j.energy.2017.04.131.

Chauhan, B. S. & Opeña, J. (2012). Effect of tillage systems and herbicides on weed emergence, weed growth, and grain yield in dry-seeded rice systems. *Field Crops Research*, *137*, 56-69. doi: 1016/j.fcr.2012.08.016.

Dastan, S., Soltani, A., Noormohammadi, G., & Madani, H. (2014). CO_2 emissions and global warming potential due to energy consumption in rice planting systems. *Journal of Agroecology*, *6*(4), 823-835. [In Persian]. doi: 10.22067/jag.v6i4.27517.

Dastan, S., Soltani, A., Noormohammadi, G., Madani, H., & Yadi, R. (2015). Estimation of the carbon footprint and global warming potential in rice production systems. *Environmental Sciences*, *14*(1), 19-28. [In Persian].

Deike, S., Pallutt, B., & Christen, O. (2008). Investigation on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. *European Journal of Agronomy*, *28*(3), 461-470. doi: 1016/j.eja.2007.11.009.

Eskandari Cherati, F. A., Bahrami, H., & Asakereh, A. (2011). Energy survey of mechanized and traditional rice production system in Mazandaran province of Iran. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(11), 2565-2570. doi: 10.5897/AJAR11.516.

Feyzbakhsh, S., & Alizadeh, P. (2018). Comparison of silage corn (*Zea mays* L.) and forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) production in terms of energy consumption and global warming potential in Golestan region. *Journal of Agroecology*, *10*(1), 218-233. [In Persian]. doi: 10.22067/jag.v10i1.56517.

Feyzbakhsh, M. T., & Soltani, A. (2013). Energy flow and global warming potential of corn farm (Gorgan city). *Electronic Journal of Crop Production*, *6*(2), 89-107. [In Persian]. dor: 20.1001.1.2008739.1392.6.3.6.6.

Franzluebbers, A. J., & Francis, C. A. (1995). Energy output-input ratio of maize and sorghum management systems in Eastern Nebraska. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 53, 271-278. doi: 10.1016/0167-8809(94)00568-Y.

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., Sanjani, S., Anvarkhah, S., & Aghel, H. (2011). A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy*, *88*(1), 283-288. doi: 10.1016/j.apenergy.2010.04.028.

Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F., Christie, K. W. T., Goulding, P. M., Vitousek, P. M., & Zhang, S. (2010). Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, *327*(5968), 1008-1010. doi: 10.1126/science.1182570.

Hosseini, S. T., Sharifan, H., Kiani, K., Abyar, N. M., & Feyzbakhsh, M. T. (2022). Energy flow and global warming potential in direct seeded and transplantation of rice under different irrigation systems. *Journal of Water Research in Agriculture*, *35*(4), 337-356. [In Persian]. doi: 10.22092/jwra.2021.355385.885.

Jat, M. L., Gathala, M. K., Ladha, J. K., Saharawat, Y. S., Jat, A. S., Kumar, V., Sharma, A. S., & Gupta, R. K. (2009). Evaluation of precision land leveling and double zero-till systems in the rice-wheat rotation: Water use, productivity, profitability and soil physical properties. *Soil Tillage Research*, *105*(1), 112-121. doi: 10.1016/j.still.2009.06.003.

Kaltsas, A. M., Mamolos, A. P., Tsatsarelisb, C. A., Nanosc, G. D., & Kalburtji, K. L. (2007). Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *122*(2), 243-251. doi: 10.1016/j.agee.2007.01.017.

Kazemi, H., & Zare, S. (2014). Investigation and comparison of energy flow in wheat fields of Gorgan and Marvdasht townships. *Cereal Research*, *4*(3), 211-227. dor: 20.1001.1.22520163.1393.4.3.3.1.

Kosemani, B. S., & Bamgboye, I. (2020). Energy input-output analysis of rice production in Nigeria. *Energy*, *27*, 118258. doi: 10.1016/j.energy.2020.118258.

Khoshnevisan, B., Rafiee, M., Omid, M., Yousefi, M., & Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52, 333-338. doi: 10.1016/j.energy.2013.01.028.

Kiani, A. R., Yazdani, M. R., & Feyzbakhsh, M. T. (2022). Comparison of rice direct seeding and transplanting methods under different irrigation methods. *Journal of Water & Soil*, *35*(6), 779-790. [In Persian]. doi: 10.22067/jsw.2021.69302.1036.

Mansoori, H., Rezvani Moghadam, P., & Moradi, R. H. (2012). Energy budget and economic analysis in conventional and organic rice production systems and organic scenarios in the transition period in Iran. *Frontiers in Energy*, *6*, 341-350.doi: 10.1007/s11708-012-0206-x.

Monaco, F., Sali, G., Ben Hassen, M., Facchi, A., Romani, M., & Valè, G. (2016). Water management options for rice cultivation in a temperate area: A multi-objective model to explore economic and water saving results. *Water*, *8*(8), 336. doi: 10.3390/w8080336.

Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. (2004). Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, *29*(1), 39-51. doi: 10.1016/S0960-1481(03)00135-6.

Pathak, H., & Wassmann, R. (2007). Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. *Agricultural Systems*, *94*(3), 807-825. doi: 10.1016/j.agsy.2006.11.015.

Pishgar-Komleh, S. H., Sefeedpari, P., & Rafiee, S. (2011). Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. *Energy*, *36*(10), 5824-5831. doi: 10.1016/j.energy.2011.08.044.

Rajabi, M. H., Soltani, A., Vhidnia, B., Zeinali, E., & Soltani, E. (2012). Evaluation of fuel consumption in wheat fields in Gorgan. *Environmental Sciences*, *9*(2), 143-164. [In Persian].

Rathke, G. W., Wienhold, B. J., Wilhelm, W. W., & Diepenbrock, W. (2007). Tillage and rotation effect on corn-soybean energy balances in eastern Nebraska. *Soil & Tillage Research*, *97*(1), 60-70. doi: 10.1016/j.still.2007.08.008.

Ren, L. T., Liu, Z. X., Wei, T. Y., & Xie, G. H. (2012). Evaluation of energy input and output of sweet sorghum grown as a bioenergy crop on coastal saline-alkali land. *Energy*, *47*(1), 166-173. doi: 10.1016/j.energy.2012.09.024.

Sharma, P. K., Bhushan, L., Ladha, J. K., Naresh, R. K., Gupta, R. K., Balasubramanian, B. V., & Bouman, B. A. M. (2002). Crop-water relations in rice-wheat croppings under different tillage systems and water management practices in a marginally sodic, medium-textured soil. In: Bouman,

B. A. M., Hengsdijk, H., Hardy, B., Bindraban, P. S., Tuong, T. P., & Ladha, J. K. (Eds.). Water-wise Rice Production. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. pp. 223-235.

Singh, A. K., Choudhury, B. U., & Bouman, B. A. M. (2002). Effects of rice establishment methods on crop performance, water use, and mineral nitrogen. In: Bouman, B. A. M., Hengsdijk, H., Hardy, B., Bindraban, P. S., Tuong, T. P., & Ladha, J. K. (Eds.). Water-wise Rice Production. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. pp. 237-246.

Soltani, A., Rajabi, M. H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2009). Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: Wheat in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production*, *3*(3), 201-218. [In Persian]. dor: 20.1001.1.2008739.1389.3.3.12.1.

Soltani, A., Rajabi, M. H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2013). Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy*, *50*, 54-61. doi: 10.1016/j.energy.2012.12.022.

Vitousek, P. M., Naylor, R., Crews, T., David, M. B., Drinkwater, E. L., Holand, E., Jhones, P. J., Katzenberger, J., Martinelli, L. A., & Zhang, F. S. (2009). Nutrient imbalances in agricultural development. *Science*, *324*(5934), 1519-1520. doi: 10.1126/science.1170261.

Wan, C. C., Ismail, W. I., Yahya, A., & Bockari-Gevao, S. M. (2005). Energy consumption in lowland rice-based cropping system of Malaysia. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, *27*(4), 819-826.

Yousefi, M., Darijani, F., & Alipour Jahangiri, A. (2012). Comparing energy flow of greenhouse and open-field cucumber production systems in Iran. *African Journal of Agricultural Research*, *7*(4), 624-628. doi: 10.5897/AJAR11.1787.

Yuan, S., & Peng, S. (2017). Input-output energy analysis of rice production in different crop management practices in central China. *Energy*, *141*, 1124-1132. doi: 10.1016/j.energy.2017.10.007.

Zentner, R. P., Lafond, G. P., Derksen, D. A., Nagy, C. N., Wall, D. D., & May, W. E. (2004). Effects of tillage method and crop rotation on non-renewable energy use efficiency for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies. *Soil and Tillage Research*, *77*(2), 125-136. doi: 10.1016/j.still.2003.11.002.