Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

(OPEN ACCESS)

The role of crop management on amount of energy consumption and greenhouse gases emissions in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) farms

Donya Parmah[1], Hamidreza Chaghazardi[*2], Farzad Mondany[3], Ali Beheshti Ale Agha[4], Danial Kahrizi[5]

1. M.Sc. Graduate of Ecology (Agroecology), Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: parmahdonya2020@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: rezachaghazardi1350@gmail.com
3. Associate Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: f.mondani@razi.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: beheshtiali97@gmail.com
5. Professor, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: dkahrizi@razi.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 03.13.2024
Revised: 06.16.2024
Accepted: 07.08.2024

Keywords:
Carbon dioxide,
Fertilizer management,
Oilseed,
Organic matter,
Tillage

ABSTRACT

Background and Objectives: In recent years, the assessment of input and output energy and global warming potential has gained a special place among researchers in the agricultural sector. Correct management in choosing appropriate methods of agricultural operations reduces fuel consumption, energy, and greenhouse gas production in farm products. For this purpose, this study was carried out to evaluate the amount of production, energy efficiency, and greenhouse gas emissions of safflower under conservation tillage conditions and fertilizer consumption.

Materials and Methods: The experimental factors include three levels of different tillage systems, including conventional tillage, reduced tillage, and no-tillage as the main factor. Four levels of NPK fertilizer were used as secondary factors at four levels of zero, 33, 66, and 100% of the required amount of safflower. The design consisted of three main blocks (each block for one replication). Each block was divided into three main plots (each main plot for one tillage operation). The distance between each block was 3 m, and the distance between the main plots was 2 m. There were four sub-plots in each main plot, and the distance between each sub-plot was considered 1 m. The area of the main plots was 21×15 m, and the area of each sub-plot was 4.5×15 m. Safflower planting was done in rows with 5 planting lines with a row distance of 50 cm and a distance between plants of 10 cm. The amount of seed used for safflower was 8 kg/ha. In all stages of planting, keeping, and harvesting, all agricultural managements were investigated based on the conventional management of the area and with the farmer's method to measure all inputs and outputs to the farm. After accurately recording the information, all Inputs were converted into energy equivalents and greenhouse gas equivalents.

Results: The results showed that most of the investigated traits were affected by the tillage system, fertilizer, and their interaction. In terms of energy input, it was also found the highest share of input was related to fuel

(50%) and human power (24.8%), which decreased due to the use of conservation tillage and fertilizer consumption. The highest energy efficiency in seed production in safflower (0.28 kg/MJ) was obtained from reduced tillage and no fertilizer use. The results of specific energy contradicted the efficiency and energy efficiency trend. For example, the highest specific energy in the production of seeds and straw in the safflower plant was obtained from the no-tillage system, which used 100% of the fertilizer required by the plant. In this treatment, the specific energy in safflower seed production was estimated to be 16.33 MJ/kg. The specific energy in the production of straw was calculated at about 10.91 MJ/kg, which indicates the inverse relationship between specific energy and energy efficiency. Among the inputs used, phosphate fertilizer caused the highest carbon dioxide production, urea fertilizer caused the highest methane production, and fossil fuels caused the highest nitrogen oxide production, and in all fertilizer levels and tillage systems, the highest production of these greenhouse gases was related to these inputs.

Conclusion: Changing the tillage system increased energy efficiency in safflower plant production. Although using nitrogen fertilizer increased the production rate of the safflower plant, the productivity decreased due to using 100% of the fertilizer required by the plant. Also, conservation tillage has reduced the production of greenhouse gases in crop production.

Cite this article: Parmah, Donya, Chaghazardi, Hamidreza, Mondany, Farzad, Beheshti Ale Agha, Ali, Kahrizi, Danial. 2025. The role of crop management on amount of energy consumption and greenhouse gases emissions in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) farms. *Journal of Plant Production Research*, 32 (1), 119-143.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jopp.2024.22274.3128
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

نقش مدیریت زراعی بر میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزارع گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

دنیا پرماه[۱]، حمیدرضا چقازردی*[۲]، فرزاد مندنی[۳]، علی بهشتی آل آقا[٤]، دانیال کهریزی[٥]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد اکولوژیک (اگرواکولوژی)، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: parmahdonya2020@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: rezachaghazardi1350@gmail.com

۳. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: f.mondani@razi.ac.ir

٤. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: beheshtiali97@gmail.com

۵. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: dkahrizi@razi.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۱۲/۲۳
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۳/۰۳/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۰٤/۱۸

واژه‌های کلیدی:
خاک‌ورزی،
دانه روغنی،
دی‌اکسیدکربن،
ماده آلی،
مدیریت کودی

چکیده

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر ارزیابی انرژی ورودی و خروجی و پتانسیل گرمایش جهانی در بین پژوهش‌گران بخش کشاورزی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. مدیریت صحیح در انتخاب روش‌های مناسب عملیات زراعی باعث کاهش مصرف سوخت، انرژی و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات کشاورزی می‌شود. به همین منظور این مطالعه باهدف ارزیابی میزان تولید، بهره‌وری انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای گیاه گلرنگ در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی و مصرف کود اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و به‌صورت دیم انجام شد. تیمارها شامل سامانه‌های خاک‌ورزی (خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی کاهشی و بی‌خاک‌ورزی) به‌عنوان عامل اصلی و کود NPK، در چهار سطح صفر، ۳۳، ٦٦ و ۱۰۰ درصد به‌عنوان عامل فرعی بودند. طرح شامل سه بلوک اصلی (هر بلوک برای یک تکرار) بود. هر بلوک به سه کرت اصلی (هر کرت اصلی برای یک عملیات خاک‌ورزی) تقسیم شد. فاصله بین هر بلوک ۳ متر و فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت اصلی چهار کرت فرعی وجود داشت که فاصله هر کرت فرعی ۱ متر در نظر گرفته شد. مساحت کرت اصلی ۲۱×۱۵ متر و مساحت هر کرت فرعی ٤/۵×۱۵ متر بود.

کاشت گلرنگ در ردیف‌هایی با ۵ خط کاشت با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. مقدار بذر مصرفی گلرنگ ۸ کیلوگرم در هکتار بود. در تمامی مراحل کاشت، داشت و برداشت، همه مدیریت‌های کشاورزی بر اساس مدیریت متعارف منطقه و با روش کشاورز انجام شد تا تمامی نهاده‌ها و خروجی‌ها به مزرعه اندازه‌گیری شود، پس از ثبت دقیق اطلاعات، ابتدا همه نهاده‌ها (کودها، سموم شیمیایی، سوخت، بذر، نیروی انسانی و غیره) به میزان انرژی و سپس به میزان گازهای گلخانه‌ای تبدیل شدند قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد. در این پژوهش برای مقایسه میانگین از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اکثر صفات مورد بررسی تحت‌تأثیر سیستم خاک‌ورزی، کود و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفتند. در بررسی انرژی‌های ورودی مشخص شد که بالاترین سهم مربوط به سوخت (۵۰ درصد) و نیروی انسانی (۲٤/۸ درصد) بود که در اثر کاربرد خاک‌ورزی حفاظتی و مصرف کود سهم این دو کاهش یافت. بالاترین بهره‌وری انرژی در تولید دانه گلرنگ (۰/۲۸ کیلوگرم در مگاژول) از خاک‌ورزی کاهشی و عدم مصرف کود حاصل شد. در بین نهاده‌های مورد استفاده، کود فسفات بیش‌ترین تولید گاز دی‌اکسیدکربن، کود اوره بیش‌ترین تولید گاز متان و سوخت‌های فسیلی بیش‌ترین تولید گاز اکسید نیتروژن را سبب شدند و در تمام سطوح کودی و سیستم‌های خاک‌ورزی بالاترین میزان تولید این گازهای گلخانه‌ای نیز مربوط به این نهاده‌ها بود.

نتیجه‌گیری: تغییر سیستم خاک‌ورزی باعث افزایش بهره‌وری انرژی در تولید گیاه گلرنگ شد. اگرچه استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش میزان تولید گیاه گلرنگ می‌شود، اما به‌دلیل استفاده ۱۰۰ درصدی از کود مورد نیاز گیاه، بهره‌وری کاهش یافت. هم‌چنین خاک‌ورزی حفاظتی باعث کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات زراعی می‌شود.

استناد: پرماه، دنیا، چقازردی، حمیدرضا، مندنی، فرزاد، بهشتی آل آقا، علی، کهریزی، دانیال (۱۴۰۴). نقش مدیریت زراعی بر میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزارع گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۲ (۱)، ۱۴۳-۱۱۹.

DOI: 10.22069/jopp.2024.22274.3128

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

امروزه فعالیت‌های بشر منجر به افزایش فشار به محیط‌زیست می‌شود که تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی شناخته می‌شود. تغییر اقلیم موجب افت عملکرد محصول و افزایش دمای هوا می‌گردد (۱ و ۲). در سال‌های اخیر فعالیت‌های کشاورزی ۵ درصد از کل سوخت‌های فسیلی را مصرف کرده است. فعالیت‌های کشاورزی موجب تولید و انتشار حدود ۱۳ درصد گاز دی‌اکسیدکربن، ٦۰ درصد گاز اکسید نیتروژن و ۵۰ درصد گاز متان می‌شود (۳ و ٤).

در حال حاضر، در بین محصولات زراعی، دانه‌های روغنی اهمیت خاصی دارند و پس از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. این محصولات دارای ذخایر غنی از اسیدهای چرب هستند. امروزه صنعت روغن‌کشی و تولید روغن در اغلب کشورهای جهان جزء صنایع راهبردی محسوب می‌شود. در ایران نیز اراضی قابل‌کشت وسیع و زمینه‌های مساعدی برای کشت دانه‌های روغنی وجود دارد اما بر اساس آمارهای موجود بیش از ۹۰ درصد روغن موردنیاز کشور از خارج تأمین می‌شود؛ بنابراین برای ادامه حیات صنعت روغن‌کشی، تولید دانه‌های روغنی باید مورد حمایت قرار گیرد تا با افزایش تولید از خدمات صنعت روغن‌کشی کشور بیش از گذشته بهره‌مند شد (۵).

سامانه‌های کشاورزی حفاظتی می‌تواند موجب ایجاد کارایی در مواد اولیه، افزایش درآمد از مزرعه، بهبود شرایط پایدار تولید محصول و موجب حفظ و بازسازی مجدد خاک شوند. خاک‌ورزی حفاظتی روشی برای نگه‌داری آب در زمین و هم‌چنین کاهش هزینه‌های تولید و افزایش مواد آلی خاک است (٦).

اقدامات عمده‌ای که به انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند خاک‌ورزی شدید، افزایش استفاده از کودها، بهبود شیوه‌های حفاظت از محصول و سوزاندن بقایای محصول است (۷). علاوه‌بر افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، این شیوه‌ها هم‌چنین به از دست دادن تنوع زیستی و تخریب زمین منجر می‌شوند (۸). برخی از شیوه‌های مدیریت بهبودیافته که می‌توانند انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) را کاهش دهند، عبارتند از: استفاده از روش‌های بی‌خاک‌ورزی، افزایش تراکم کاشت، تناوب زراعی، کشت پوششی و کاهش مصرف کودهای نیتروژنی (۹ و ۱۰).

در سال ۲۰۱۹، بخش کشاورزی در ایران ۰/۸۷ درصد از کل متان و ۲۹/۹۵ درصد از کل انتشار اکسید نیتروژن را به خود اختصاص داده است. در بخش کشاورزی، تغییرات اقلیمی می‌تواند بر قیمت‌های کشاورزی، مزیت نسبی منطقه‌ای و رفاه تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان با تأثیر بر عملکرد محصول تأثیر بگذارد. استفاده بیش‌ازحد از انرژی نه‌تنها منجر به هزینه‌های اقتصادی بالاتر می‌شود، بلکه به انتشار گازهای گلخانه‌ای بیش‌تر، گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوایی منجر می‌شود (۱۱).

باتوجه‌به پیامدهای منفی و روزافزون ناشی از تصاعد گازهای گلخانه‌ای و اهمیت آن در بخش کشاورزی و اثر چشم‌گیر آن برافزایش گازهای گلخانه‌ای و تأثیر روش‌های نوین در کاهش آن، این مطالعه باهدف ارزیابی اثر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و سطوح مختلف کوددهی به‌عنوان روشی در کاهش تصاعد گازهای گلخانه‌ای (۱۲) با بررسی انرژی‌های ورودی و خروجی در سامانه‌های کشاورزی در محصول گلرنگ اجرا شد. هم‌چنین زراعت در شرایط دیم می‌تواند تأثیر مثبت قابل‌توجهی بر عوامل مرتبط باانرژی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند ایران داشته باشد. نظر به کاهش منابع آبی و واردات روغن در کشور ضرورت دارد تا

گیاهی روغنی با مصرف آب کم مانند گلرنگ معرفی گردد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۸ اجرا شد. منطقه موردمطالعه دارای ۱۳۱۹ متر ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی ٤۷/۱۰۷۳۸ شمالی و ۳٤/۳۲۳۸ شرقی بود. خصوصیات هواشناسی در سال اجرای آزمایش در جدول ۱ نشان داده‌شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و به‌صورت دیم بر روی گیاه گلرنگ (رقم فرامان) انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل سامانه‌های خاک‌ورزی (خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی کاهشی و بی‌خاک‌ورزی) به‌عنوان عامل اصلی، کود NPK در چهار سطح صفر، ۳۳، ٦٦ و ۱۰۰ درصد به‌عنوان عامل فرعی بودند.

این طرح شامل ۳ بلوک اصلی بود. هر بلوک به ۳ کرت اصلی تقسیم شد و هر کرت اصلی برای یک عملیات خاک‌ورزی در نظر گرفته شد. فاصله بین هر بلوک ۳ متر و فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر بود. در هر کرت اصلی، ٤ کرت فرعی وجود داشت که فاصله بین هر کرت فرعی ۱ متر در نظر گرفته شد. مساحت کرت‌های اصلی ۱۵×۲۱ متر و مساحت هر کرت فرعی ۱۵×٤/۵ متر بود. کاشت گلرنگ به‌صورت ردیفی به ترتیب با ۵ خط کاشت بافاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. به‌منظور انجام آزمون خاک از زمین محل انجام آزمایش به‌صورت تصادفی در چندین مکان از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری زمین، نمونه مرکب خاک گرفته و به آزمایشگاه منتقل گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی با روش‌ها تأییدشده اندازه‌گیری شده (۱۳) و در جدول ۲ ارائه‌شده است. بررسی نتایج نشان داد که ماده آلی و مقدار نیتروژن کل خاک پایین بوده ولی مقدار فسفر و پتاسیم قابل‌جذب خاک در حد بهینه بود و میزان کود مصرفی بر اساس نیاز کودی گیاه روغنی گلرنگ انتخاب گردید.

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی در سال اجرای آزمایش در ایستگاه کرمانشاه.

Table 1. The meteorological parameters in meteorological stations in Kermanshah Province.

دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	دمای متوسط Average temperature (°C)	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	میزان بارندگی Rainfall amount (mm)	ماه Month	
17.7	12.3	6.8	125.3	October	آبان
11.6	7.4	3.4	104	November	آذر
10.2	4.5	-1.3	41.5	December	دی
11	5.4	-0.5	96.3	January	بهمن
12.2	6.5	0.1	79.1	February	اسفند
16.2	10.4	4.7	194.8	March	فروردین
24.4	16.7	6.6	17.5	April	اردیبهشت
34	26	13	0	May	خرداد
38.7	29.9	16.6	0	June	تیر

جدول ۲- نتایج آزمون خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر.

Table 2. Soil test results at a depth of 0 to 30 cm.

پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	نیتروژن کل Total Nitrogen	کربن آلی Organic carbon	بافت خاک Soil texture	pH	EC (dS/m)
(mg/kg)		(%)				
480	12	0.097	0.97	clay loam	7.4	0.86

برای اجرای طرح آزمایشی، ابتدا عملیات آماده‌سازی زمین و خاک‌ورزی انجام شد. برای این منظور از یک تراکتور MF399 جفت دیفرانسیل جهت انجام شخم مرسوم، بی‌خاک‌ورزی و سپس دیسک زنی مرسوم استفاده گردید. لازم به ذکر است. برای انجام عملیات خاک‌ورزی مرسوم از گاوآهن برگردان‌دار، برای کم خاک‌ورزی از چیزل پنجه غازی و برای بی‌خاک‌ورزی از روش کشت مستقیم با کارنده خطی کار استفاده شد. مقدار بذر مصرفی برای گلرنگ (رقم فرامان) ۲۵ کیلوگرم در هکتار (۸٤/٤ گرم در هر کرت فرعی) بود. میزان کود مصرفی بر اساس نیاز گیاهان روغنی مشخص شد که این مقدار شامل مخلوطی از کود اوره، کود سولفات پتاسیم و کود سوپر فسفات تریپل به ترتیب با نسبت‌های ٤٦، ٤٦ و ۸ درصد بود. تیمارهای کود مصرفی شامل صفر درصد (صفر کیلوگرم در هکتار)، ۳۳ درصد (۱۵۱/۸ کیلوگرم در هکتار)، ٦٦ درصد (۳۰۳/٦ کیلوگرم در هکتار) و ۱۰۰ درصد (٤٦۰ کیلوگرم در هکتار) بودند که در جدول ۳ مقدار کود مصرفی برای هر کرت فرعی به‌طور دقیق نشان داده شده است. کوددهی پتاسیم و فسفر و ۵۰ درصد کود نیتروژن به‌صورت پایه هم‌زمان با کاشت و ۵۰ درصد باقی‌مانده کود نیتروژن به‌صورت سرک ٤ ماه بعد از کاشت استفاده شد. عملیات داشت شامل سه مرحله مبارزه با علف هرز به روش شیمیایی و مکانیکی، مبارزه با آفات از طریق روش شیمیایی بود. برای مبارزه و کنترل آفت سوسک برگ‌خوار گلرنگ و لارو آن‌ها از حشره‌کش متاسیستوکس هزاره سوم (۵۰ میلی‌لیتر در هر کرت فرعی) و دورسبان (۱۰۰ میلی‌لیتر در هر کرت فرعی) استفاده شد (١٤). برای مبارزه با علف‌های هرز باریک برگ از هالوکسی‌فوپ‌آرمتیل (۵۰۰ میلی‌لیتر در هر کرت فرعی) استفاده شد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ از روش وجین دستی استفاده گردید.

جدول ۳- میزان کود در هر کرت فرعی.

Table 3. Amount of fertilizer in each sub-plot.

سوپر فسفات تریپل Triple superphosphate (g)	سولفات پتاسیم Potassium sulfate (g)	اوره Urea (g)	وزن کل کود در هر کرت فرعی Total weight of fertilizer in each sub-plot (g)	سطح کود Fertilizer level
82	471	471	1023	33%
164	941	941	2046	66%
248	1426	1426	3100	100%

در تمام مراحل کاشت، داشت و برداشت تمام مدیریت‌های زراعی بر اساس مدیریت مرسوم منطقه موردبررسی و به شیوه کشاورز صورت گرفت تا از این طریق تمام نهاده‌های ورودی و خروجی به مزرعه اندازه‌گیری شود و پس از ثبت دقیق اطلاعات ابتدا تمام نهاده‌های ورودی (کود، سموم شیمیایی، سوخت مصرفی، بذر، نیروی کارگری و ...) به معادل انرژی تبدیل‌شده و سپس به معادل گازهای گلخانه‌ای تبدیل شد. برای محاسبه انرژی معادل مصرفی در نهاده‌های کشاورزی از معادله ۱ استفاده شد که در این معادله Ein (Input Energy) انرژی مصرفی توسط نهاده مربوطه است، Ico (Input consumption) واحد مصرفی نهاده موردبررسی و Ee (Equivalent Energy) معادل انرژی نهاده مصرفی استخراجی از جدول ٤ است (۱۵).

$$Ein=Ico\times Ee \qquad (۱)$$

جدول ٤- مقادیر ورودی و خروجی با انرژی معادل آن‌ها.

Table 4. Amounts of inputs and output with their equivalent energy.

کمیت (نهاده و خروجی) Quantity (inputs and output)		واحد Unit	ضرایب معادل انرژی Total energy equivalent (MJ/ha)	منبع Reference
نیروی انسانی Human labor	نهاده Inputs	hr	1.96	Zangeneh et al., 2010
ماشین‌آلات Machinery		hr	62.7	Zangeneh et al., 2010
سوخت دیزل Diesel fuel		l	56.31	Rafiee et al., 2010
بذر Seeds		kg	25	Zahedi et al., 2014
نیتروژن Nitrogen	کود شیمیایی Fertilizer	kg	66.14	Zangeneh et al., 2010
پتاسیم Potassium		kg	11.15	Zangeneh et al., 2010
فسفر Phosphorus		kg	13.07	Zangeneh et al., 2010
علف‌کش Herbicides	سموم شیمیایی Chemical poisons	l	238.3	Rafiee et al., 2010
آفت‌کش Pesticides		l	101.2	Rafiee et al., 2010
عملکرد دانه Grain yield	خروجی Output	kg	25	Zahedi et al., 2014
عملکرد کاه و کلش Straw yield		kg	2.3	Bahrami et al., 2011

انرژی خروجی نیز شامل تمام اجزای روی سطح خاک بود که شامل انرژی حاصل از تولید دانه و انرژی حاصل از تولید کاه و کلش است. برای محاسبه انرژی خروجی برای تولید هر محصول، عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش محصول، محاسبه و سپس میزان عملکرد در ضریب استاندارد انرژی خروجی ضرب و برای کاه و کلش و دانه باهم جمع گردید و به‌عنوان انرژی خروجی در تولید گلرنگ محاسبه شد.

انرژی استفاده از ماشین‌ها شامل ساخت و نگهداری ماشین‌ها و انتقال آن‌ها به مزارع می‌باشد. مقدار انرژی استفاده‌شده برای ماشین‌آلات برای هر عملیات با رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه شد:

$$TE = UEH \times t \quad (۲)$$

که در آن، TE انرژی حاصل از استفاده از ماشین (مگا ژول در هکتار)، UEH انرژی مصرفی ادوات و ماشین‌آلات برای انجام عملیات زراعی (مگا ژول در ساعت)، t مدت‌زمان کاربرد ماشین (ساعت در هکتار).

$$UEH = (UEW \times W) / ULT \quad (۳)$$

که در آن، UEW انرژی موردنیاز برای ساخت، تعمیر و نگهداری و حمل‌ونقل ماشین‌آلات (مگا ژول بر کیلوگرم که معادل با عدد ثابت ۱۴۲/۷ مگا ژول بر کیلوگرم)، W وزن ماشین (کیلوگرم)، ULT عمر مفید دستگاه (ساعت)

وزن و عمر مفید هر یک از ماشین‌های کاشت در جدول ۵ آورده شده است (برداشت محصول به‌صورت دستی انجام شد):

جدول ۵- انواع مختلف ماشین‌آلات و ادوات مورداستفاده برای کشت گلرنگ به همراه وزن و عمر مفید دستگاه‌ها.

Table 5. Different types of machines and tools used for safflower cultivation (weight and useful life of the devices).

ماشین Machine	مدل Model	شرکت Company	وزن Weight (kg)	عمر مفید Useful life (hr)
تراکتور Tractor	MF399	Cultivation of Kave Bukan	3317	1500
دیسک ۲۴ پره 24 Plain Disc	GAK-OTO-RE-24	-	1430	1500
چیزل ۷ پره Chisel Plough 7 Blade	GAK-RCHC-7	Ahangari Khorasan	700	2400
گاوآهن ٤ خیش 4-shank plow	GAK-P-12-4	Ahangari Khorasan	505	2400
کودکار-بذرکار آسکه Direct seeding machine	GAK-OTO-R140	Ahangari Khorasan	900	2400

هم‌چنین برای تحلیل و ارزیابی درست از سیستم تولیدی با دید انرژی، شاخص‌هایی مانند کارایی (راندمان) انرژی (E.R)، انرژی خالص (NEG)، بهره‌وری انرژی (EP) و انرژی مخصوص (SE) لحاظ گردید (۱۶). کارایی یا راندمان انرژی (E.R) از تقسیم انرژی خروجی (تولیدی) حاصل از محصول اصلی بر انرژی ورودی (مصرفی) به دست می‌آید و عددی بدون واحد است. در ضمن در این پژوهش دو انرژی ورودی خورشید و انرژی مواد موجود در خاک در نظر گرفته نشده و انرژی ورودی فقط شامل انرژی‌هایی است که به‌وسیله کشاورز به سیستم داده یا اضافه می‌شود و از رابطه ٤ محاسبه می‌گردد (۱۶).

$$E.R = E_{out} / E_{in} \quad (٤)$$

که در آن، E.R نسبت بازدهی انرژی، E_{out} انرژی خروجی از سیستم، E_{in} انرژی مصرفی در سیستم (مگا ژول بر هکتار).

محاسبه شاخص انرژی خالص یا افزوده خالص انرژی (NEG) با استفاده از رابطه ۵ انجام شد (۱٦).

$$NEG = E_{out} - E_{in} \quad (۵)$$

که در آن، NEG انرژی خالص (مگا ژول بر هکتار)، E_{out} انرژی خروجی از سیستم (مگا ژول بر هکتار)، E_{in} انرژی مصرفی در سیستم (مگا ژول بر هکتار).

بهره‌وری انرژی (EP) از رابطه ٦ محاسبه گردید (۱٦).

$$EP = Y / E_{in} \quad (٦)$$

که در آن، EP بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگا ژول)، E_{in} انرژی مصرفی در سیستم (مگا ژول بر هکتار)، Y عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار).

شاخص انرژی مخصوص (SE) از رابطه ۷ محاسبه شد (۱٦).

$$SE = E_{in} / Y \quad (۷)$$

که در آن، SE انرژی مخصوص (مگا ژول بر کیلوگرم)، E_{in} انرژی مصرفی در سیستم (مگا ژول بر هکتار)، Y عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار).

در این پژوهش میزان گازهای دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن تولیدی در طی عملیات کشاورزی مختلف محاسبه شد. با به‌کارگیری ضرایب تولید گازهای دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن به‌ترتیب معادل ۱، ۲۱ و ۳۱۰ کیلوگرم گاز دی‌اکسیدکربن، کل گازهای گلخانه‌ای به‌صورت معادل گاز دی‌اکسیدکربن محاسبه شدند و درنهایت میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس رابطه ۸ ارائه شد (۱۷).

$$GWP=I_{CO2}+21\times I_{CH4}+310\times I_{N2O} \quad (۸)$$

که در آن، GWP پتانسیل گرمایش جهانی برحسب کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار، I_{CO2} ضریب انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، I_{CH4} ضریب انتشار گاز متان، I_{N2O} ضریب انتشار گاز اکسید نیتروژن.

ضرایب انتشار گازهای دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن هستند که از جدول ٦ قابل‌استخراج هستند (۱۸).

جدول ٦- ضرایب محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای هر واحد از نهاده‌های مختلف کشاورزی.

Table 6. Coefficients for calculating the amount of greenhouse gas emissions per unit of various agricultural inputs.

ورودی Inputs	واحد Unit	متان Methane	اکسید نیتروژن Nitrogen oxides	دی‌اکسیدکربن Carbon dioxide
سوخت فسیلی Fossil fuels	l	5.2	0.7	3560
کود اوره Urea fertilizer	kg	3.7	0.03	61.2
کود فسفات Phosphate fertilizer	kg	1.8	0.02	1000
کود پتاسیم Potassium fertilizer	kg	1	0.01	700
سموم و آفت‌کش‌ها Poisons and pesticides	kg	0.01	0.02	5100

قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد. در این پژوهش برای مقایسه میانگین از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد و هم‌چنین برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.4 استفاده گردید.

نتایج و بحث

انرژی ورودی: نتایج مربوط به انرژی ورودی در تولید گلرنگ دیم در جدول‌های ۷ و ۸ نشان داده‌شده است. طبق بیلان انرژی در تولید گلرنگ مشخص شد، نیروی انسانی در تولید این گیاه در شرایط خاک‌ورزی مرسوم و بدون مصرف کود در حدود ۱۹۲۲ مگا ژول در هکتار انرژی مصرف نموده است که حدود ۲٤/۸ درصد از کل انرژی تولید این گیاه می‌باشد. انرژی ماشین‌آلات نیز در حدود ۹/۵ درصد، سوخت ۵۰ درصد، علف‌کش ٦/۳ درصد و بذر ۸ درصد از کل انرژی مصرفی این گیاه می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان داد با تغییر سیستم خاک‌ورزی و مصرف کود این نسبت‌ها تغییر یافت. به‌عنوان‌مثال سهم نیروی انسانی در تولید گلرنگ در اثر خاک‌ورزی کاهشی و عدم مصرف کود ۲٦ درصد و در اثر بی‌خاک‌ورزی و عدم مصرف کود به ۲۹ درصد رسید که این مقادیر در اثر مصرف ۱۰۰ درصد نیاز کودی در این شرایط به‌ترتیب به ۷/۸، ۵/۵ و ۵/٦ درصد در خاک‌ورزی مرسوم، کاهشی و بی‌خاک‌ورزی رسید (جدول ۷). سهم انرژی سوخت نیز که دارای بیش‌ترین سهم انرژی در تولید می‌باشد، از ۵۰ درصد در شرایط عدم مصرف کود و خاک‌ورزی مرسوم، به ٦ درصد در بی‌خاک‌ورزی و مصرف ۱۰۰ درصد نیاز کودی تغییر یافت (جدول ۷).

سهم ماشین‌آلات در گلرنگ نیز در خاک‌ورزی مرسوم و عدم مصرف کود از ۹/۵ درصد به ۱۰/٤ درصد در خاک‌ورزی کاهشی و ۸/٤ درصد در بی‌خاک‌ورزی و عدم مصرف کود تغییر یافت که با مصرف ۱۰۰ درصد کود این تغییرات به ترتیب به ۳، ۲/۲ و ۱/٦ درصد در خاک‌ورزی مرسوم، کاهشی و بی‌خاک‌ورزی کاهش یافت (جدول ۷). نتایج مربوط به مصرف کودهای شیمیایی نیز مشخص نمود در شرایط خاک‌ورزی مرسوم در اثر مصرف کامل کود (۱۰۰ درصد) ٦۵/۸ درصد از انرژی مربوط به نیتروژن، ۱۱ درصد مربوط به پتاسیم و ۲/۳ درصد مربوط به فسفر بود که در اثر بی‌خاک‌ورزی این تغییرات به ٦۷ درصد نیتروژن، ۱۱/۳ درصد پتاسیم و ۲/۳ درصد فسفر رسید (جدول ۷).

طبق نتایج بیلان شکل‌های مختلف انرژی نیز مشخص شد که در شرایط خاک‌ورزی مرسوم و عدم مصرف کود در حدود ۷۵ درصد انرژی‌های مورداستفاده انرژی‌های مستقیم (نیروی انسانی و سوخت) و ۲٤/۸ درصد غیرمستقیم (ماشین‌آلات، کودهای شیمیایی، سموم و بذر) بوده‌اند. هم‌چنین ۳۳ درصد از این انرژی‌ها تجدید پذیر (نیروی انسانی، بذر) و ٦۷ درصد دیگر تجدیدناپذیر (ماشین‌آلات، سوخت، کودهای شیمیایی و سموم) می‌باشند. مصرف ۱۰۰ درصد کود سبب شد که سهم انرژی‌های مستقیم ۲۳/۷ درصد و انرژی‌های غیرمستقیم ۷٦ درصد شده که در این شرایط نیز ۱۰ درصد انرژی‌های مورداستفاده تجدیدپذیر و ۸۹ درصد تجدیدناپذیر می‌باشند (جدول ۸). تغییر سیستم خاک‌ورزی از مرسوم به بی‌خاک‌ورزی در گلرنگ نیز سبب شد که در شرایط مصرف کامل کود سهم انرژی‌های مستقیم ۱/٦ درصد و غیرمستقیم ۸۷/۸ درصد شده که ۸/٦ درصد از آن‌ها تجدیدپذیر و ۹۰/۸ درصد غیرقابل‌تجدید می‌باشد (جدول ۸).

جدول ۷- بیلان انرژی تولید گلرنگ در کشت دیم در استان کرمانشاه.

Table 7. Energy balance of safflower production in dryland cultivation in Kermanshah province.

خاک‌ورزی Tillage	اشکال انرژی Form of energy		عدم مصرف کود No use of fertilizer			۳۳ درصد کود 33% fertilizer			٦٦ درصد کود 66% fertilizer			۱۰۰ درصد کود 100% fertilizer		
			مقدار Amount	انرژی Energy	%	مقدار Amount	انرژی Energy	%	مقدار Amount	انرژی Energy	%	مقدار Amount	انرژی Energy	%
مرسوم Conventional	نیروی انسانی Human labor		980.9	1922.5	24.8	980.9	1922.5	14.5	980.9	1922.5	10.2	980.9	1922.5	7.8
	ماشین‌آلات Machinery		213.8	738.9	9.5	213.8	738.9	5.6	213.8	738.9	3.9	213.8	738.9	3
	سوخت دیزل Diesel fuel		69.2	3898.9	50.4	69.2	3898.9	29.3	69.2	3898.9	20.7	69.2	3898.9	15.9
	کود شیمیایی Fertilizer	نیتروژن Nitrogen	0	0	0	235.5	4615.1	34.7	470.5	9220.4	49	713	13972.7	56.9
		پتاسیم Potassium	0	0	0	235.5	778	5.9	470.5	1554.4	8.3	713	2355.5	9.6
		فسفر Phosphorus	0	0	0	41	158.8	1.2	82	317.6	1.7	124	480.2	2
	سموم شیمیایی Chemical poisons	علف‌کش Herbicides	2.1	490.3	6.3	2.1	490.3	3.7	2.1	490.3	2.6	2.1	490.3	2
		آفت‌کش Pesticides	0.6	62.5	0.8	0.6	62.5	0.5	0.6	62.5	0.3	0.6	62.5	0.3
	بذر Seeds		25	625	8.1	25	25	4.7	25	25	3.3	25	625	2.5
کاهشی Reduced	نیروی انسانی Human labor		592.6	1161.5	26.2	592.6	1161.5	11.8	592.6	1161.5	7.5	592.6	1161.5	5.5
	ماشین‌آلات Machinery		126.7	461.6	10.4	126.7	461.6	4.7	126.7	461.6	3	126.7	461.6	2.2
	سوخت دیزل Diesel fuel		28.9	1628.7	36.8	28.9	1628.7	16.5	28.9	1628.7	10.5	28.9	1628.7	7.7
	کود شیمیایی Fertilizer	نیتروژن Nitrogen	0	0	0	23.5	4615.1	46.8	470.5	9220.4	59.4	713	13972.7	65.8
		پتاسیم Potassium	0	0	0	235.5	778	7.9	470.5	1554.4	10	713	2355.5	11.1
		فسفر Phosphorus	0	0	0	41	158.8	1.6	82	317.6	2	124	480.2	2.3
	سموم شیمیایی Chemical poisons	علف‌کش Herbicides	2.1	490.3	11.1	2.1	490.3	5	2.1	490.3	3.2	2.1	490.3	2.3
		آفت‌کش Pesticides	0.6	62.5	1.4	0.6	62.5	0.6	0.6	62.5	0.4	0.6	62.5	0.3
	بذر Seeds		25	25	14.1	25	25	25	25	25	25	25	25	25
بی‌خاک‌ورزی No tillage	نیروی انسانی Human labor		591.4	1159.2	29.6	591.4	1159.2	12.2	591.4	1159.2	7.7	591.4	1159.2	5.6
	ماشین‌آلات Machinery		85.1	327.7	8.4	85.1	327.7	3.5	85.1	327.7	2.2	85.1	327.7	1.6
	سوخت دیزل Diesel fuel		22.1	1251.3	32	22.2	1251.3	13.2	22.2	1251.3	8.3	22.2	1251.3	6
	کود شیمیایی Fertilizer	نیتروژن Nitrogen	0	0	0	235.5	4615.1	48.7	470.5	9220.4	61.4	713	13972.7	67
		پتاسیم Potassium	0	0	0	235.5	778	8.2	470.5	1554.4	10.4	713	2355.5	11.3
		فسفر Phosphorus	0	0	0	41	158.8	1.7	82	317.6	2.1	124	480.2	2.3
	سموم شیمیایی Chemical poisons	علف‌کش Herbicides	2.1	490.3	12.5	2.1	490.3	5.2	2.1	490.3	3.3	2.1	490.3	2.4
		آفت‌کش Pesticides	0.6	62.5	1.6	0.6	62.5	0.7	0.6	62.5	0.4	0.6	62.5	0.3
	بذر Seeds		25	625	16	25	25	6.6	۲۵/۰	25	4.2	25	25	3

نتایج انرژی کل ورودی در تولید گلرنگ نشان داد، میزان انرژی ورودی گلرنگ در شرایط خاک‌ورزی مرسوم و عدم مصرف کود در حدود ۷۷۳۸ مگا ژول در هکتار برآورد شد. مصرف کود موجب افزایش میزان انرژی تا ۲٤٥٤٦ مگا ژول در هکتار شد (جدول ۸). تغییر سیستم خاک‌ورزی از مرسوم به کاهشی سبب کاهش میزان انرژی ورودی شد به‌طوری‌که انرژی ورودی گلرنگ در شرایط عدم مصرف کود ٤۲ درصد و در شرایط استفاده کامل از کود ۱۳ درصد نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افت نشان داد. بی‌خاک‌ورزی نیز سبب کاهش ۵۰ و ١٤ درصدی انرژی گلرنگ در شرایط عدم مصرف کود و استفاده ۱۰۰ درصدی کود نسبت به خاک‌ورزی مرسوم شد (جدول ۸). شخم حفاظتی باعث کاهش هزینه‌های کارگری و کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به جو می‌شود (۱۹). تفاوت در میزان انرژی‌های ورودی مربوط به نوع مدیریت زراعی و شرایط آب و هوایی می‌باشد که از سال‌به‌سال و منطقه به منطقه و محصول به محصول متفاوت می‌باشد. در مطالعات متعددی نیز گزارش نمودند که در خاک‌ورزی‌های حفاظتی مصرف انرژی به‌طور معنی‌داری نسبت به مرسوم کاهش یافت (۲۰). طبق گزارش‌های صورت گرفته مشخص‌شده که از مزیت‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی‌های مرسوم صرفه‌جویی در زمان و درنتیجه کاهش نیروی انسانی، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری است که در این مطالعه نیز کاهش نیروی انسانی در اثر بی‌خاک‌ورزی مشاهده شد (۲۱).

کاهش مصرف سوخت نیز به‌علت کاهش تردد ماشین‌آلات از علت‌های مهم کاهش مصرف انرژی در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی بود (۲۲) که مشاهدات ما نیز مشخص شد در حدود ٤۵ تا ۵۰ درصد از انرژی ورودی مربوط به سوخت بوده که در اثر تغییر سیستم خاک‌ورزی تا ۱۰ درصد نیز کاهش پیدا می‌کند.

انرژی خروجی: نتایج تجزیه واریانس انرژی خروجی در تولید دانه و کاه و کلش گلرنگ نیز نشان داد که اثر خاک‌ورزی، کود و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). بالاترین انرژی خروجی در تولید دانه از خاک‌ورزی مرسوم و مصرف ۳۳ درصد از نیاز کودی حاصل شد که سبب رسیدن انرژی خروجی به‌ترتیب به ٤۸۹۰۰ مگاژول در هکتار شد. هم‌چنین مشخص شد، در این شرایط مصرف نسبت‌های مختلف کود تأثیر معنی‌داری بر انرژی خروجی نداشته و تمام سطوح در یک کلاس آماری قرار گرفتند ولی انرژی خروجی نسبت به شاهد (صفر کود) در گلرنگ ۵۱ درصد افزایش داشت (جدول ۱۰). نتایج هم‌چنین مشخص نمود که در خاک‌ورزی کاهشی میزان انرژی خروجی در نسبت کودی ۳۳ درصد، ۲٦ درصد نسبت به خاک‌ورزی مرسوم کاهش یافت که این مقادیر در سیستم بی‌خاک‌ورزی به ۳۸ درصد رسید و بین خاک‌ورزی کاهشی و بی‌خاک‌ورزی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۱۰).

جدول ۸- بیلان شکل‌های مختلف انرژی تولید گلرنگ در نظام کشت دیم کرمانشاه.

Table 8. Balance of different forms of safflower production energy in Kermanshah dryland farming system.

خاک‌ورزی Tillage	اشکال انرژی Form of energy	عدم مصرف کود No use of fertilizer		۳۳ درصد کود 33% fertilizer		٦٦ درصد کود 66% fertilizer		۱۰۰ درصد کود 100% fertilizer	
		انرژی Energy	%	انرژی Energy	%	انرژی Energy	%	انرژی Energy	%
مرسوم Conventional	مستقیم Direct	5821.4	75.2	5821.4	43.8	5821.4	30.9	5821.4	23.7
	غیرمستقیم Indirect	1916.7	24.8	7468.6	56.2	13009.1	69.1	18725.2	76.3
	تجدیدپذیر Renewable	2547.5	32.9	2547.5	19.2	2547.5	13.5	2547.5	10.4
	تجدیدناپذیر Nonrenewable	5190.6	67.1	10742.5	80.8	16283	86.5	21999.1	89.6
	کل انرژی Total energy	7738.1	100	13290	100	18830.5	100	24546.6	100
کاهشی Reduced	مستقیم Direct	1786.5	63	2792	28.3	1786.5	18	1786.5	13.1
	غیرمستقیم Indirect	1639.4	37	7191.3	73	12731.7	82	18447.8	86.9
	تجدیدپذیر Renewable	1786.5	40.3	1786.5	18.1	1786.5	11.5	1786.5	8.4
	تجدیدناپذیر Nonrenewable	2643.1	59.7	8195	83.2	13735.4	88.5	19451.5	91.6
	کل انرژی Total energy	4429.6	100	9981.5	101.3	15521.9	100	21238	100
بی‌خاک‌ورزی No tillage	مستقیم Direct	2410.5	61.6	2410.5	25.5	2410.5	16.1	2410.5	11.6
	غیرمستقیم Indirect	1505.5	38.4	7057.4	74.5	12597.8	83.9	18313.9	87.8
	تجدیدپذیر Renewable	1784.2	45.6	1784.2	18.8	1784.2	11.9	1784.2	8.6
	تجدیدناپذیر Nonrenewable	2131.8	54.4	7683.7	81.2	13224.2	88.1	18940.2	90.8
	کل انرژی Total energy	3916	100	9467.9	100	15008.3	100	20724.4	100

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس انرژی خروجی تولید گلرنگ تحت‌تأثیر خاک‌ورزی و سطوح مختلفی کودی.

Table 9. The results of variance analysis of output energy of safflower production under the effect of tillage and different amounts of fertilizer.

منابع تغییرات Sources of variance	df	میانگین مربعات (Mean squared)	
		انرژی خروجی (دانه) Output energy (grain)	انرژی خروجی (کاه و کلش) Output energy (straw)
بلوک (Block)	2	10904080^{ns}	67036.1^{ns}
خاک‌ورزی (Tillage)	2	528554653^{**}	16911913.3^{**}
خطای اصلی (Whole-plot error)	4	12023663	1303447
کود (Fertilizer)	3	226234173^{**}	60364519.6^{**}
خاک‌ورزی×کود (Tillage × Fertilizer)	6	40685595^{**}	12388468.1^{**}
خطای فرعی (Split-plot error)	18	4800026	1979630
درصد ضریب تغییرات ((Coefficient of variation (%)	-	5.77	18.2

** و * به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست

** and * significant at 1% and 5% and ns, not significant respectively

نتایج مربوط به انرژی خروجی در تولید کاه و کلش نیز مشخص نمود، بالاترین انرژی خروجی کاه و کلش ۱٤۹۷۸ مگاژول در هکتار نیز همانند دانه از خاک‌ورزی مرسوم و مصرف ۳۳ درصد نیاز کودی گیاه مشاهده شد. کم‌ترین انرژی خروجی کاه و کلش در گلرنگ از سیستم بی‌خاک‌ورزی و عدم مصرف کود (۳۱٤٤ مگا ژول در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۱۰). مطالعات انجام‌شده در سامانه‌های تولید گیاهان زراعی گندم در گرگان نشان حداکثر انرژی خروجی معادل ۱۲۰۵۳۱ مگا ژول در هکتار بوده است (۲۳). زاهدی و همکاران (۲٤) و نیز در بررسی میزان انرژی خروجی گلرنگ مشخص نمودند که میزان انرژی خروجی در اصفهان در حدود ٦٦۹۵۰ مگا ژول در هکتار بود. در مطالعه ما نیز مشاهده شد، تغییر سیستم خاک‌ورزی و کود با تأثیر گذاشتن بر عملکرد تولید بر میزان انرژی خروجی تأثیر داشت.

جدول ۱۰- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و سطوح مختلفی کودی بر انرژی خروجی تولید گلرنگ.

Table 10. The results of comparing the average soil tillage and different levels of fertilizers on the energy output of safflower.

خاک‌ورزی Tillage	سطح کود Fertilizer level (%)	انرژی خروجی (دانه) Output energy (grain) (MJ/ha)	انرژی خروجی (کاه و کلش) Output energy (straw) (MJ/ha)
مرسوم Conventional	0	32233.3 ^{ef}	6429.4 ^{ef}
	33	48900 ^{a}	14978.6 ^{a}
	66	47041.7 ^{a}	11590.2 ^{b}
	100	47458.3 ^{a}	10945.4 ^{bc}
کاهشی Reduced	0	31408.3 ^{ef}	4644.5 ^{fg}
	33	37793.8 ^{bc}	7683 ^{d}
	66	39733.3 ^{b}	10152.8 ^{cd}
	100	34925 ^{cde}	5423.4 ^{ef}
بی‌خاک‌ورزی No tillage	0	29058.3 ^{f}	3144.7 ^{gh}
	33	31412.5 ^{ef}	4628.2 ^{fg}
	66	36716.7 ^{bcd}	6726.5 ^{e}
	100	32037.5 ^{ef}	3158.9 ^{h}
LSD 0.05	-	4448.5	1794.6

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the LSD tests

کارایی مصرف انرژی: نتایج مربوط به کارایی مصرف انرژی نیز نشان داد، خاک‌ورزی در سطح ۵ درصد بر کارایی مصرف انرژی دانه و در سطح ۱ درصد بر کارایی مصرف انرژی کاه و کلش گلرنگ تأثیرگذار بود. اثر اصلی کود و اثر متقابل خاک‌ورزی در کود نیز در سطح احتمال ۱ درصد بر کارایی مصرف انرژی دانه و کاه و کلش معنی‌دار بودند (جدول ۱۱).

نتایج مربوط به کارایی مصرف انرژی در تولید دانه مشخص شد که بالاترین کارایی در گیاه گلرنگ ۷/۰۹، از سیستم خاک‌ورزی کاهشی و عدم مصرف کود حاصل شد این در حالی بود که بالاترین کارایی مصرف انرژی در کاه و کلش نتیجه متفاوت‌تری داشت. بالاترین کارایی مصرف انرژی در تولید کاه و کلش گلرنگ (۱/۱۸) از سیستم خاک‌ورزی مرسوم و

نسبت کودی ۳۳ درصد به‌دست آمد. کم‌ترین کارایی مصرف انرژی در تولید دانه و کاه و کلش از سیستم بی‌خاک‌ورزی و مصرف کامل کود (۱۰۰ درصد) مشاهده شد به‌طوری‌که کارایی مصرف انرژی دانه و کاه و کلش گلرنگ به‌ترتیب ۱/٥٤ و ۰/۱٥ بود (جدول ۱۲).

جدول ۱۱- نتایج تجزیه واریانس کارایی مصرف و بهره‌وری انرژی تولید گلرنگ تحت‌تأثیر خاک‌ورزی و سطوح مختلفی کودی.

Table 11. The results of analysis of the variance of energy use efficiency and energy productivity of safflower under the effect of tillage and different levels of fertilizer.

منابع تغییرات Sources of variance	df	میانگین مربعات (Mean squared)			
		کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency		بهره‌وری انرژی Energy productivity	
		دانه Grain	کاه و کلش Straw	دانه Grain	کاه و کلش Straw
بلوک (Block)	2	0.065^{ns}	0.005^{ns}	0.0001^{ns}	0.0011^{ns}
خاک‌ورزی (Tillage)	2	1.967^{*}	0.434^{**}	0.0033^{*}	0.0843^{**}
خطای اصلی (Whole-plot error)	4	0.124	0.005	0.0002	0.0008
کود (Fertilizer)	3	34.64^{**}	0.695^{*}	0.0552^{**}	0.1300^{**}
خاک‌ورزی×کود (Tillage × Fertilizer)	6	2.860^{**}	0.091^{**}	0.0041^{**}	0.0171^{**}
خطای فرعی (Split-plot error)	18	0.084	0.013	0.0002	0.0024
درصد ضریب تغییرات ((Coefficient of variation (%))	-	8.17	17.4	8.94	17.03

** و * به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ^{ns} اختلاف معنی‌دار نیست

** and * significant at 1% and 5% and ^{ns}, not significant respectively

جدول ۱۲- نتایج مقایسه میانگین خاک‌ورزی و سطوح مختلفی کودی بر کارایی مصرف و بهره‌وری انرژی تولید گلرنگ.

Table 12. The results of comparing the average tillage and different levels of fertilizer on the energy use efficiency and energy productivity of safflower.

خاک‌ورزی Tillage	سطح کود Fertilizer level (%)	کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency		بهره‌وری انرژی Energy productivity (kg/MJ)	
		دانه Grain	کاه و کلش Straw	دانه Grain	کاه و کلش Straw
مرسوم Conventional	0	4.17 [b]	0.83 [c]	0.17 [b]	0.36 [c]
	33	3.87 [bc]	1.18 [a]	0.15 [bc]	0.50 [a]
	66	2.66 [d]	0.67 [de]	0.11 [d]	0.29 [d]
	100	1.93 [ef]	0.45 [f]	0.08 [ef]	0.19 [e]
کاهشی Reduced	0	7.09 [a]	1.05 [b]	0.28 [a]	0.46 [b]
	33	3.84 [bc]	0.78 [c]	0.15 [bc]	0.37 [c]
	66	2.56 [d]	0.65 [e]	0.10 [d]	0.28 [d]
	100	1.64 [f]	0.26 [g]	0.07 [ef]	0.11 [f]
بی‌خاک‌ورزی No tillage	0	7.42 [a]	0.80 [cd]	0.30 [a]	0.35 [cd]
	33	3.32 [c]	0.49 [f]	0.13 [d]	0.21 [e]
	66	2.45 [de]	0.45 [f]	0.10 [de]	0.19 [e]
	100	1.54 [f]	0.15 [h]	0.06 [f]	0.07 [g]
LSD 0.05	-	0.54	0.14	0.023	0.06

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ٥ درصد ندارند

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the LSD tests

درگاهی و همکاران (۲۵) گزارش کردند، کارایی مصرف انرژی برای تولید کلزا در شرایط آب‌وهوای خراسان شمالی ۲/۸۳ محاسبه شد. زاهدی و همکاران (۲٤) نیز دربررسی کارایی مصرف انرژی در تولید گلرنگ در منطقه اصفهان میزان این شاخص برای این گیاه را ۱/۷ گزارش کردند. در گزارش دیگر کارایی مصرف انرژی در تولید گلرنگ ۲/۱۹ به‌دست آمده است این نسبت نشان می‌دهد به‌ازای هر ۱ مگا ژول انرژی ورودی ۲/۱۹ مگا ژول انرژی تولید می‌شود (۲٦). در این مطالعه مشاهده شد سیستم حفاظتی موجب افزایش کارایی مصرف انرژی از طریق کاهش انرژی ورودی‌ها مانند سوخت و نیروی انسانی سبب افزایش کارایی مصرف انرژی می‌شود.

بهره‌وری انرژی: نتایج نشان داد که بهره‌وری انرژی دانه گلرنگ در سطح احتمال ۵ درصد تحت‌تأثیر خاک‌ورزی و در سطح احتمال ۱ درصد تحت‌تأثیر کود و اثر متقابل خاک‌ورزی در کود قرار گرفت. بهره‌وری انرژی در تولید کاه و کلش گلرنگ نیز مانند دانه بوده (جدول ۱۱). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی در کود در مورد بهره‌وری انرژی نشان داد، بالاترین بهره‌وری انرژی در تولید دانه گیاه گلرنگ از خاک‌ورزی کاهشی و عدم مصرف کود حاصل شد. طبق نتایج این بخش، بهره‌وری انرژی دانه در گلرنگ ۰/۲۸ کیلوگرم در مگاژول برآورد شد. نتایج میزان بهره‌وری انرژی در تولید کاه وکلش نیز مشخص نمود، بالاترین بهره‌وری در گیاه گلرنگ (۰/۵۰) از خاک‌ورزی مرسوم و نسبت کودی ۳۳ درصد به‌دست آمد (جدول ۱۲). کم‌ترین بهره‌وری انرژی در تولید هر دو بخش گیاه نیز از سیستم بی‌خاک‌ورزی و استفاده کامل از کود حاصل شد به‌طوری‌که در این شرایط بهره‌وری انرژی در تولید دانه ۰/۰٦ کیلوگرم در مگا ژول و برای کاه و کلش ۰/۰۷ کیلوگرم در مگاژول به‌دست آمد (جدول ۱۲).

میزان بهره‌وری انرژی در روش کشت حفاظتی بیش‌تر از کشت مرسوم می‌باشد. دلیل آن سهم زیاد انرژی ماشین‌ها، سوخت و استفاده بیش‌تر از نیروی انسانی و عملکرد پایین در واحد سطح می‌باشد. نتایج مطالعه ما نیز نشان داد در خاک‌ورزی مرسوم در حدود ٤۸ درصد از انرژی ورودی مربوط به سوخت است که با تغییر سیستم خاک‌ورزی می‌تواند این میزان به ۱۰ درصد کاهش پیدا کند (جدول ۷) یکی از دلایل افزایش راندمان در سامانه‌های کشاورزی، مصرف کم‌تر نهاده‌ها می‌باشد (۲۷). خاک‌ورزی مرسوم، به‌دلیل مصرف بیش‌تر انرژی برای تولید محصول، بهره‌وری انرژی کم‌تر بود، بنابراین در روش‌های حفاظتی بهره‌وری انرژی به‌دلیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی، نسبت به روش مرسوم بیش‌تر بود. بهره‌وری انرژی از طریق کاهش مصرف انرژی یا افزایش عملکرد محصول افزایش می‌یابد.

انرژی مخصوص: نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی در جدول ۱۳ نشان داده‌شده است. نتایج انرژی مخصوص برخلاف روند کارایی و بهره‌وری انرژی بود. به‌عنوان‌مثال بالاترین انرژی مخصوص در تولید دانه و کاه و کلش در گیاه گلرنگ از سیستم بی‌خاک‌ورزی و مصرف ۱۰۰ درصد کود موردنیاز گیاه به‌دست آمد. در این تیمار انرژی مخصوص در تولید دانه گلرنگ ۱٦/۳۳ مگاژول در کیلوگرم تخمین زده شد. انرژی مخصوص در تولید کاه و کلش در حدود ۱۰/۹۱ مگاژول در کیلوگرم محاسبه شد که این نشان‌دهنده رابطه عکس انرژی مخصوص و بهره‌وری انرژی است (جدول ۱٤). کم‌ترین انرژی مخصوص در تولید دانه نیز از سیستم بی‌خاک‌ورزی و عدم مصرف کود مشاهده شد این در حالی بود که در مورد کاه و کلش کم‌ترین مقدار مربوط به سیستم خاک‌ورزی کاهشی و عدم مصرف کود بود که بین بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کاهشی تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۱٤).

جدول ۱۳- نتایج تجزیه واریانس انرژی مخصوص و انرژی خالص تولید گلرنگ تحت‌تأثیر خاک‌ورزی و سطوح مختلفی کودی.

Table 13. The results of analyzing the variance of specific energy and net energy of safflower production under the effect of tillage and different levels of fertilizer.

میانگین مربعات (Mean squared)					
انرژی خالص Net energy		انرژی مخصوص Special energy		df	منابع تغییرات Sources of variance
کاه و کلش Straw	دانه Grain	کاه و کلش Straw	دانه Grain		
67035^{ns}	1090407.99^{ns}	0.137^{ns}	0.57^{ns}	2	بلوک (Block)
7985216.05*	3052957.717^{ns}	3.623**	13.38^{ns}	2	خاک‌ورزی (Tillage)
8500761	1266873	2.37	5.86	4	خطای اصلی (Whole-plot error)
4259641.061**	2962446.616**	5.887**	17.394**	3	کود (Fertilizer)
1228019.06**	4075469.37**	4.66**	5.26**	6	خاک‌ورزی×کود (Tillage × Fertilizer)
1765198	4714818	127	0.37	18	خطای فرعی (Split-plot error)
22.17	8.96	24.5	6.75	-	درصد ضریب تغییرات ((Coefficient of variation (%))

** و * به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست

** and * significant at 1% and 5% and ns, not significant respectively

در پژوهش درگاهی و همکاران (۲۵) مقادیر انرژی مخصوص در سیستم کشت آبی کلزا به ٤/٨٤ مگاژول در کیلوگرم محاسبه گردید. هرچه مقدار انرژی مخصوص بزرگ‌تر باشد، بیانگر هدررفت بیش‌تر انرژی است (۲۸).

جدول ١٤- نتایج مقایسه میانگین خاک‌ورزی و سطوح مختلفی کودی بر انرژی مخصوص و انرژی خالص تولید گلرنگ.

Table 14. Results of comparison of average tillage and different levels of fertilizer on specific energy and net energy of safflower production.

انرژی خالص Net energy (MJ/ha)		انرژی مخصوص Special energy (MJ/kg)		سطح کود Fertilizer level (%)	خاک‌ورزی Tillage
کاه و کلش Straw	دانه Grain	کاه و کلش Straw	دانه Grain		
-1308.7 ^{b}	24495.2 ^{cde}	2.78 ^{efg}	6.02 ^{f}	0	مرسوم Conventional
1688.6 ^{a}	35610 ^{a}	1.81 ^{g}	6.48 ^{ef}	33	
-7240.3 ^{c}	28211.2 ^{b}	3.45 ^{def}	9.44 ^{d}	66	
-13601.1 ^{e}	22911.8 ^{de}	5.30 ^{c}	12.96 ^{c}	100	
214.9 ^{b}	2678.7 ^{bcd}	2.20 ^{fg}	3.55 ^{g}	0	کاهشی Reduced
-2170.1 ^{b}	27940.7 ^{bc}	3.08 ^{b}	6.53 ^{ef}	33	
-5369.1 ^{c}	24211.4 ^{cde}	3.52 ^{de}	9.78 ^{d}	66	
-15814.6 ^{f}	13687 ^{f}	9.03 ^{b}	15.21 ^{b}	100	
-771.2 ^{b}	25142.4 ^{cde}	2.99 ^{efg}	3.38 ^{g}	0	بی‌خاک‌ورزی No tillage
-4839.7 ^{c}	21944.6 ^{de}	4.71 ^{cd}	7.58 ^{e}	33	
-8281.8 ^{d}	21708.4 ^{e}	5.27 ^{c}	10.25 ^{d}	66	
-17693.9 ^{g}	1184.7 ^{f}	10.91 ^{a}	16.33 ^{a}	100	
1794.6	4448.5	1.25	1.04	-	LSD 0.05

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

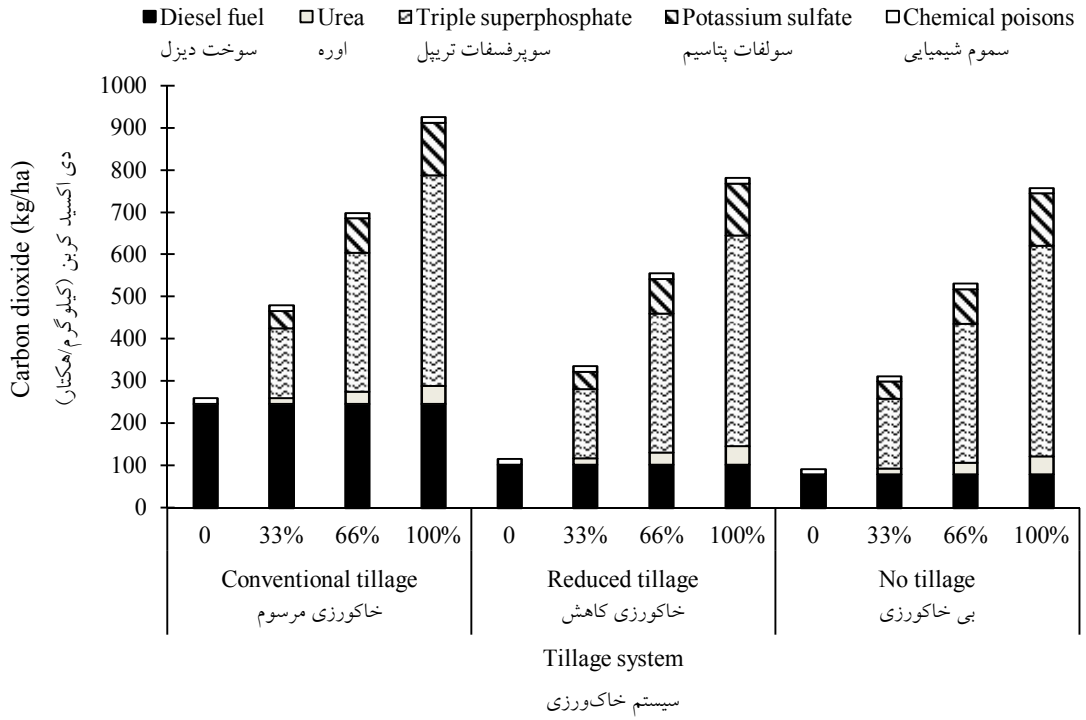
In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the LSD tests

انرژی خالص: انرژی خالص در تولید دانه گلرنگ تنها تحت‌تأثیر کود و اثر متقابل خاک‌ورزی در کود در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. انرژی خالص در تولید کاه و کلش نیز تحت‌تأثیر خاک‌ورزی (در سطح احتمال ۵ درصد)، کود (در سطح احتمال ۱ درصد) و اثر متقابل آن‌ها (در سطح احتمال ۱ درصد) قرار گرفت (جدول ۱۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل در مورد انرژی خالص در تولید دانه مشخص کرد، بالاترین انرژی خالص در تولید دانه در خاک‌ورزی مرسوم و مصرف ۳۳ درصد نیاز کودی مشاهده شد. انرژی خالص تولید دانه گلرنگ در حدود ۳۵۶۱۰ مگا ژول در هکتار برآورد شد (جدول ١٤). نتایج مربوط به انرژی خالص در شرایط خاک‌ورزی کاهشی نیز مشخص نمود، در شرایط عدم مصرف کود افزایش انرژی خالص در گلرنگ در حدود ۱۰ درصد نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بود که این تغییرات در مصرف ۳۳ درصد نیاز کودی به ۲۱ درصد رسید. نتایج میزان انرژی خالص دانه در شرایط بی‌خاک‌ورزی نیز مشابه خاک‌ورزی کاهشی بوده به‌طوری‌که نسبت به خاک‌ورزی مرسوم در شرایط مصرف ۳۳ درصد نیاز کودی ٤٢ درصد کاهش نشان داد (جدول ١٤).

مقایسه میانگین میزان انرژی خالص در تولید کاه و کلش نشان داد که این انرژی در تولید کاه و کلش گلرنگ همواره منفی بود. بالاترین انرژی خالص تولید کاه و کلش همانند دانه از خاک‌ورزی مرسوم و مصرف ۳۳ درصد نیاز کودی حاصل شد. به‌عنوان مثال انرژی خالص کاه و کلش گلرنگ در حدود ١٦٨٨ مگا ژول در هکتار بود. کم‌ترین انرژی خالص کاه و کلش در این گیاه نیز از شرایط بی‌خاک‌ورزی و مصرف کامل کود به‌دست آمد (جدول ١٤).

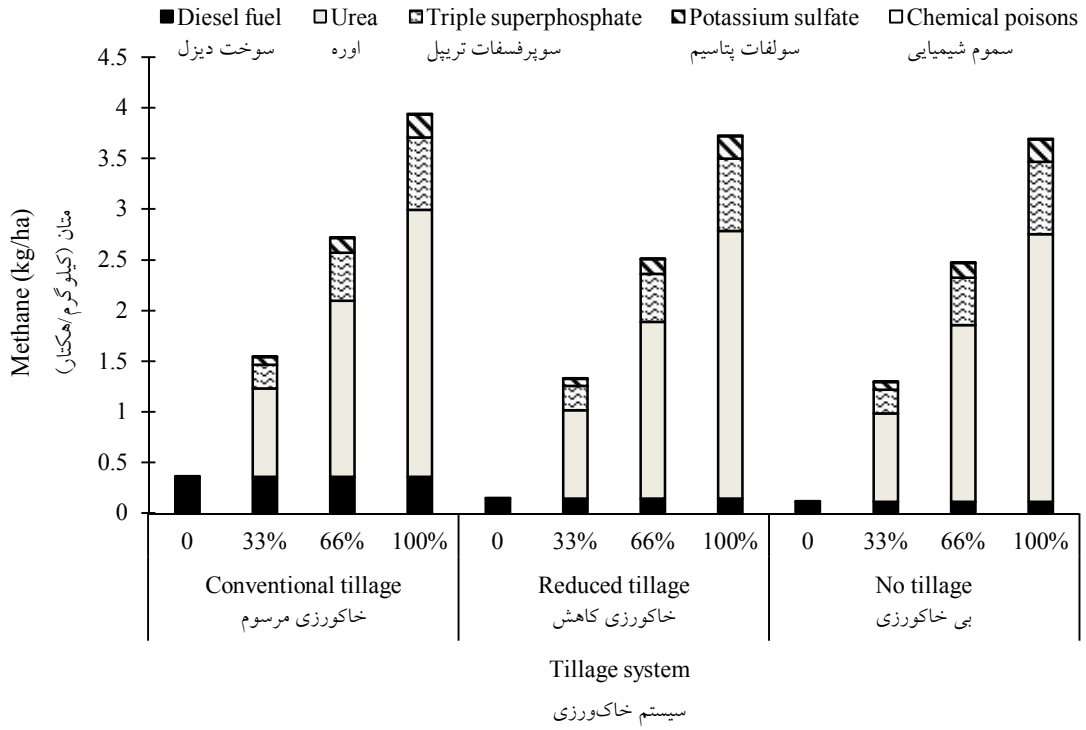
در این مطالعه انرژی خالص در تولید کاه و کلش گلرنگ منفی بوده که نشان‌دهنده خروجی کم در این گیاه با توجه به ضریب تبدیل استفاده در آن می‌باشد (جدول ١٤). در پژوهشی، بیش‌ترین انرژی خالص در تیمار بالاترین سطح کود نیتروژن با ۳۵۰ گیگا ژول در هکتار گزارش شده است (۲۹). مزارعی و همکاران (۳۰) بیش‌ترین و کم‌ترین انرژی خالص به ترتیب از نظام خاک‌ورزی کاهش یافته با کود تلفیقی دامی و شیمیایی (٢٦٦٠٥١ مگا ژول در هکتار) و نظام خاک‌ورزی متداول با کود شیمیایی (١٤٥١١٩ مگا ژول در هکتار) به‌دست آمد.

میزان گازهای گلخانه‌ای: نتایج میزان تولید گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن در اثر مصرف نهاده‌های مختلف در تولید گلرنگ در شکل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. مشخص شد که در بین نهاده‌های مورد استفاده، کود فسفات بیش‌ترین تولید دی‌اکسیدکربن، کود اوره بیش‌ترین تولید متان و سوخت‌های فسیلی بیش‌ترین تولید اکسید نیتروژن را سبب شدند و در تمام سطوح کودی و سیستم‌های خاک‌ورزی بالاترین میزان تولید این گازهای گلخانه‌ای نیز مربوط به این نهاده‌ها بود. محدوده تغییرات دی‌اکسیدکربن ۲۵۰ تا ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار، محدوده متان ۰/۳ تا ٤ کیلوگرم در هکتار و محدوده اکسید نیتروژن نیز ۰/۰٤ تا ۰۸ /۰ کیلوگرم در هکتار بود.



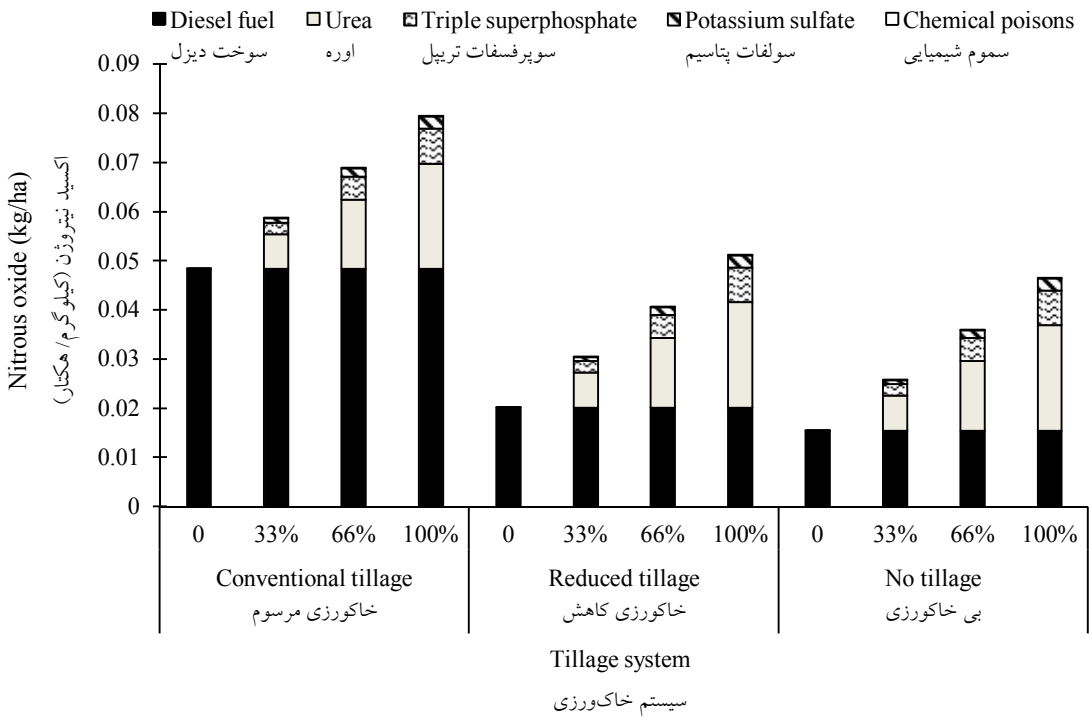
شکل ۱- میزان گاز دی اکسید کربن تولیدی در اثر مصرف نهاده‌های استفاده شده در تولید گلرنگ.

Fig. 1. The amount of carbon dioxide gas produced due to the consumption of inputs used in safflower production.



شکل ۲- میزان گاز متان تولیدی در اثر مصرف نهاده‌های استفاده شده در تولید گلرنگ.

Fig. 2. The amount of methane gas produced due to the consumption of inputs used in safflower production.



شکل ۳- میزان گاز اکسید نیتروژن تولیدی در اثر مصرف نهاده‌های استفاده شده در تولید گلرنگ.

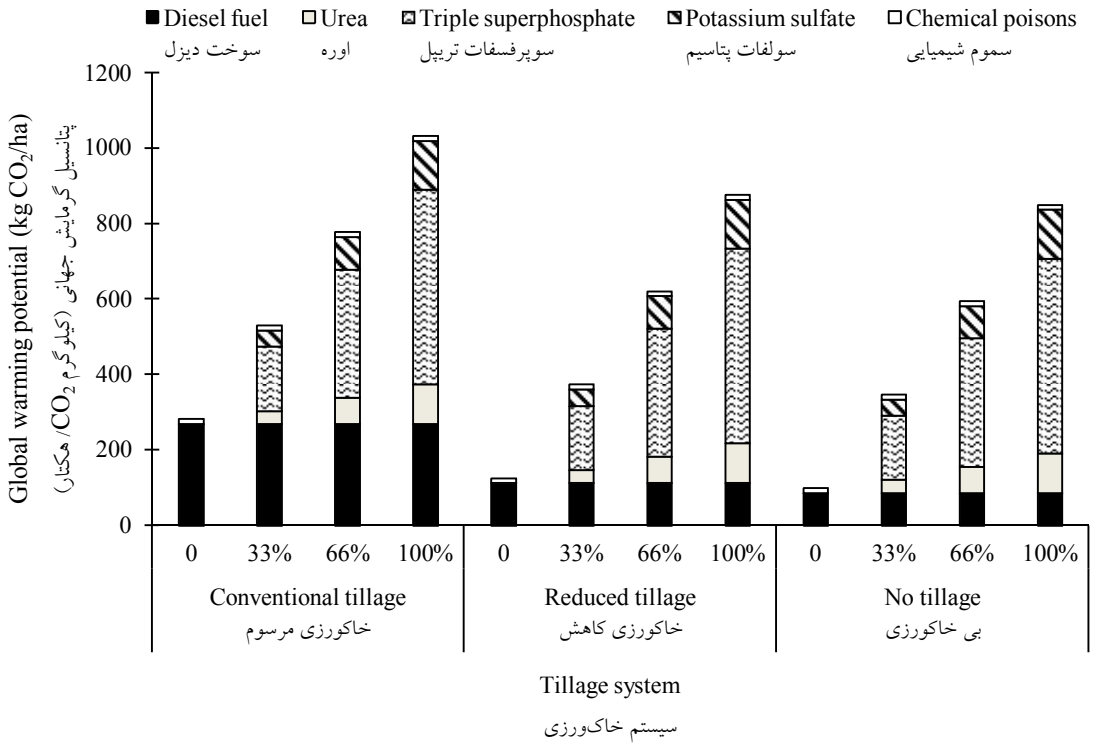
Fig. 3. The amount of nitrous oxide gas produced due to the consumption of inputs used in safflower production.

بعد از کود فسفات نیز سوخت در جایگاه دوم ازنظر دی‌اکسیدکربن، کود فسفات بعد از اوره ازنظر متان و کود اوره بعد از سوخت فسیلی ازنظر اکسید نیتروژن قرار دارند. طبق نتایج مشخص شد که سوخت‌های فسیلی در شرایط خاک‌ورزی مرسوم در حدود ۲٤٦ کیلوگرم در هکتار دی‌اکسیدکربن، ۰/۳٦ کیلوگرم در هکتار متان و ۰/۰٤۸ کیلوگرم در هکتار اکسید نیتروژن تولید نمود. در اثر استفاده از سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و بی‌خاک‌ورزی این گازها به‌ترتیب در حدود ۱۰۲، ۰/۱۵ و ۰/۰۲۰ کیلوگرم در هکتار و در اثر بی‌خاک‌ورزی ۷۹، ۰/۱۱ و ۰/۰۱۵ کیلوگرم در هکتار رسید. نتایج هم‌چنین نشان داد در شرایط مصرف کامل کودهای موردبررسی، میزان تولید دی‌اکسیدکربن در اثر اوره ٤۳/٦ کیلوگرم در هکتار و در اثر کود پتاسیم ٤۹۹ کیلوگرم در هکتار و در اثر کودهای فسفاته نیز ۱۲٤ کیلوگرم در هکتار بود. این در حالی است که میزان تولید متان نیز به‌ترتیب توسط این کودها ۲/٦۳، ۰/۷۱ و ۰/۲۲ کیلوگرم در هکتار و تولید اکسید نیتروژن نیز به ۰/۰۲۱، ۰/۰۰۷ و ۰/۰۰۲٤ کیلوگرم در هکتار رسید. به‌طورکلی مشاهده شد که در اثر تغییر سیستم خاک‌ورزی از مرسوم به بی‌خاک‌ورزی در شرایط عدم مصرف کود میزان تولید گازهای گلخانه دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن در حدود ٦٤، ٦۷ و ٦۷ درصد نسبت به خاک‌ورزی مرسوم کاهش‌یافته که این تغییرات در شرایط استفاده کامل از کود به ۱۸، ٦ و ٤۱ درصد کاهش یافت (شکل‌های ۱ تا ۳).

انرژی ورودی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندرقند در شمال ایرلند مورد ارزیابی قرار گرفت و میانگین پتانسیل گرمایش جهانی برابر با ۱/۲۵ تن معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار گزارش شد (۳۱). طبق گزارش‌های صورت گرفت، در روش

خاک‌ورزی مرسوم، پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از مصرف سوخت بیش‌ترین مقدار تولید گازهای گلخانه‌ای (٤۳/۳ درصد) را به خود اختصاص داده است. پس‌ازآن مصرف کود نیتروژن و ماشین‌های کشاورزی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. با توجه به کاهش میزان سوخت مصرفی (نوسازی ماشین‌های کشاورزی و استفاده از ادوات جدید و پیشرفته، انجام عملیات در رطوبت بهینه خاک و پرهیز از انجام عملیات اضافی) می‌توان میزان تولید گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد.

پتانسیل گرمایشی: نتایج میزان پتانسیل گرمایشی نهادهای مورداستفاده در تولید گلرنگ نیز نشان داد، در شرایط خاک‌ورزی مرسوم و عدم استفاده از کود، پتانسیل گرمایشی در تولید این گیاه حدود ۲۸۲ کیلوگرم در هکتار دی‌اکسیدکربن بوده که این مقدار در اثر مصرف کامل نیاز کودی به ۱۰۳۳ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا کرد. در اثر استفاده از سیستم خاک‌ورزی حفاظتی نیز پتانسیل گرمایشی کاسته شده به‌طوری‌که در شرایط بی‌خاک‌ورزی و عدم مصرف کود به ۹۹/۷ کیلوگرم در هکتار دی‌اکسیدکربن رسید که نسبت به خاک‌ورزی مرسوم ٦٥ درصد کاهش یافت. استفاده از کود در شرایط عدم خاک‌ورزی نیز نسبت به خاک‌ورزی مرسوم سبب کاهش ۱۷ درصدی پتانسیل گرمایشی شد (شکل ٤). نتایج هم‌چنین نشان داد که در بین نهادهای مورد استفاده کود فسفات بالاترین پتانسیل گرمایشی را نشان داده به‌طوری‌که میزان آن در شرایط مصرف کامل کود به ٥۱٦ کیلوگرم در هکتار رسید، بعد از کودهای فسفات نیز سوخت‌های فسیلی و بعدازآن کودهای نیتروژن جای گرفتند (شکل ٤).



شکل ٤- پتانسیل گرمایشی تولیدی در اثر مصرف نهاده‌های استفاده‌شده در تولید گلرنگ.

Fig. 4. Production global warming potential due to consumption of inputs used in safflower production.

نتایج مطالعه جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در مزارع ذرت دانه‌ای درکشت بهاره در گرگان نشان داد که سهم کود نیتروژن در انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۸/۸ درصد بوده و نشان داده شد که کم‌ترین میزان پتانسیل گرمایش جهانی در کشت بهاره ذرت و برابر با ۲۳٤۹ کیلوگرم در هکتار معادل دی‌اکسیدکربن به‌دست آمد (۲۷). استفاده بیش‌ازحد از کود نیتروژن تأثیر به‌سزایی در تولید گازهای گلخانه‌ای دارد کودهای نیتروژن با تأثیر بر فرآیندهای تجزیه میکروبی و تنفس ریشه از طریق فرایندهای نیتریفیکاسیون و نیتروژن‌زدایی، بر انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک تأثیر می‌گذارند (۳۲)، بنابراین، کودهای معدنی متعادل می‌تواند نقش مهمی در به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشند که ممکن است منجر به افزایش تولید انرژی زیستی شود (۳۳).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که میزان انرژی ورودی گلرنگ در شرایط خاک‌ورزی مرسوم و مصرف ۱۰۰ درصد نیاز کودی در حدود ۲٤٥٦٤ مگا ژول در هکتار است. هم‌چنین بالاترین میزان انرژی ورودی در تولید مربوط به سوخت و بعدازآن نیروی انسانی بود که در اثر تغییر سیستم خاک‌ورزی این انرژی ورودی به‌شدت کاهش پیدا می‌کند. مصرف کود هرچند به تولید گیاه موجب می‌شود ولی بهره‌وری در اثر مصرف ۱۰۰ درصد کود مورد نیاز گیاه کاهش پیدا کرد. خاک‌ورزی حفاظتی سبب کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در تولید محصول شده و بیش‌ترین گاز دی‌اکسیدکربن تولیدی مربوط به مصرف کود فسفاته، گاز متان مربوط به اوره و گاز اکسید نیتروژن از سوخت فسیلی بود. بالاترین پتانسیل گرمایشی نیز از مصرف کود فسفاته، سوخت‌های فسیلی و کود اوره حاصل شد که بسته به سیستم خاک‌ورزی و نسبت کودی از ۹۹ تا ۱۰۳۳ کیلوگرم در هکتار معادل دی‌اکسیدکربن می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد استفاده طولانی‌مدت از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌تواند موجب کاهش انرژی ورودی و نیز کاهش گازهای گلخانه‌ای شود.

منابع

1. Pandey, D., Agrawal, M., & Bohra, J. S. (2012). Greenhouse gas emissions from rice crop with different tillage permutations in rice–wheat system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 159, 133-144.
2. Shivanna, K. R. (2022). Climate change and its impact on biodiversity and human welfare. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 88 (2), 160-171.
3. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., & Rice, C. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363 (1492), 789-813.
4. Duxbury, J. M., & Mosier, A. R. (2022). Status and issues concerning agricultural emissions of greenhouse gases. In *Agricultural dimensions of global climate change* (pp. 229-258). Routledge.
5. Kahrizi, D., Rostami, A. H., & Akbarabadi, A. (2015). Feasibility cultivation of Camelina (*Camelina sativa*) as medicinal-oil Plant in Rainfed Conditions in Kermanshah-Iran's first report. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*.
6. Monsefi, A., Norouzi Masir, M., & Izadi, Y. (2022). The effects of tillage systems and weed control methods on some physical and chemical properties in corn-wheat crop rotation. *Agricultural Engineering*, 45 (2), 183-205.

7. Battaglia, M. (2018). *Crop residue management effects on crop production, greenhouse gases emissions, and soil quality in the Mid-Atlantic USA* Virginia Tech.
8. Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., & West, P. C. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478 (7369), 337-342.
9. Mosier, A. R., Halvorson, A. D., Reule, C. A., & Liu, X. J. (2006). Net global warming potential and greenhouse gas intensity in irrigated cropping systems in northeastern Colorado. *Journal of Environmental Quality*, 35 (4), 1584-1598.
10. Dachraoui, M. (2021). *Effect of tillage systems on soil properties, water dynamics and greenhouse gas emissions in a continuous irrigated maize crop in semi-arid conditions*, Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías AgrariasAutoridad UVA.
11. Sriprapakhan, P., Artkla, R., Nuanual, S., & Maneechot, P. (2021). Economic and ecological assessment of integrated agricultural bio-energy and conventional agricultural energy frameworks for agriculture sustainability. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20 (4), 227-234.
12. Fathi, A., Barari Tari, D., Fallah Amoli, H., & Niknejad, Y. (2020). Study of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions in corn production systems: influence of different tillage systems and use of fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51 (6), 769-778.
13. Estefan, G. (2013). Methods of soil, plant, and water analysis: a manual for the West Asia and North Africa region. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.
14. Seyedi, M., & Hamzei, J. (2021). Evaluation of Rapeseed Growth and Yield under Nitrogen Fertilizer in Rotation with Corn and Chickpea. *Journal of Plant Production Research*, 28 (1), 81-91.
15. Haroni, S., Sheikhdavoodi, M. J., & Kiani Deh Kiani, M. (2018). Application of Artificial Neural Networks for Predicting the Yield and GHG Emissions of Sugarcane Production. *Journal of Agricultural Machinery*, 8 (2), 389-401.
16. Hatirli, S. A., Ozkan, B., & Fert, C. (2005). An econometric analysis of energy input-output in Turkish agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9 (6), 608-623.
17. Harvey, L. D. (1993). A guide to global warming potentials (GWPs). *Energy Policy*, 21 (1), 24-34.
18. Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 133 (3-4), 247-266.
19. Wang, W., & Dalal, R. (2006). Carbon inventory for a cereal cropping system under contrasting tillage, nitrogen fertilisation and stubble management practices. *Soil and Tillage Research*, 91 (1-2), 68-74.
20. Mohammadi, D., & Afzalinia, S. (2018). Economic Comparison of Conservation and Conventional Tillage Methods in Wheat-Cotton Rotation. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 19 (71), 109-124.
21. Adhikary, S., Biswas, B., & Priya, A. (2020). Conservation Agriculture: An Efficient Tool to Overcome the Drawbacks of Conventional Agricultural System towards Sustainable Crop Production. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9 (7), 1333-1340.
22. Zabolestani, M., Reshad Sedghi, A., & Salak Zamani, A. (2008). Evaluation and comparision of two surface tillage and conventional tillage methods on grain yeild and yeild components of wheat. *Agroecology Journal*, 4 (3), 39.
23. Rajabi, M. H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2012). Evaluation of energy use

in wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production Research*, 19 (3), 143-171.

24. Zahedi, M., Eshghizadeh, H. R., & Mondani, F. (2015). Evaluation of energy use efficiency and economical indices in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) production system in Isfahan province. *Journal of Agroecology*, 4 (2), 45-57.
25. Dargahi, M. R., Jahan, M., Naseri, M. T., & Ghorbani, R. (2016). Energy balance Evaluation and Economical Analysis of canola Production in Golestan Province. *Applied Field Crops Research*, 29 (3), 50-62.
26. Imanmehr, A. (2019). Investigation of energy efficiency and greenhouse gas emissions of safflower production in terms of environment. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 8 (1).
27. Feyzbakhsh, M., & Soltani, A. (2013). Energy flow and global warming potential GWP of Corn farm (Gorgan city). *Journal of Crop Production*, 6 (3), 89-107.
28. Chauhan, N. S., Mohapatra, P. K., & Pandey, K. P. (2006). Improving energy productivity in paddy production through benchmarking-An application of data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, 47 (9-10), 1063-1085.
29. Boehmel, C., Lewandowski, I., & Claupein, W. (2008). Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agricultural systems*, 96 (1-3), 224-236.
30. Mazarei, M., Ghanbari, A., Dahmardeh, M., Siadat, S. A., & Dehdari, S. (2019). Assessment of yield and input-output energy and economic indicators in different tillage and fertilizer systems of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*, 11 (2), 417-434.
31. Tzilivakis, J., Warner, D. J., May, M., Lewis, K., & Jaggard, K. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural systems*, 85 (2), 101-119.
32. Ozlu, E., & Kumar, S. (2018). Response of surface GHG fluxes to long-term manure and inorganic fertilizer application in corn and soybean rotation. *Science of the Total Environment*, 626, 817-825.
33. Drenth, A., Olsen, D., Cabot, P., & Johnson, J. (2014). Compression ignition engine performance and emission evaluation of industrial oilseed biofuel feedstocks camelina, carinata, and pennycress across three fuel pathways. *Fuel*, 136, 143-155.