

## Evaluating Energy Productivity, Greenhouse Gas Emission, Global Warming Potential and Sustainability Index of Wheat and Rapeseed Agroecosystems in Khorramshahr

Aydin Khodaei johan<sup>1\*</sup>, Morteza Taki<sup>2</sup>, Hamid Matoorian<sup>3</sup>

Received: 11 February 2021 Accepted: 24 May 2021

1- Assist. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics Engineering, Agriculture Faculty, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, mollasani, Iran.

2-Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

3- PhD. student of Agrotechnology, Dept. of Plant Production and Genetics Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

\*Corresponding Author Email: a.khodaei@asnrkh.ac.ir

### Abstract

**Background and objectives:** Improper consumption of energy and greenhouse gas emissions have posed great risks to the environment. The purpose of this study was to investigate the energy use efficiency, greenhouse gas emission, and evaluation of sustainability in wheat and rapeseed production systems of Khorramshahr.

**Materials and Methods:** Data were collected from 60 wheat and 57 rapeseed farms of Khorramshahr using a questionnaire method and face-to-face interviews during the 2018-2019 growing season. In wheat and rapeseed production systems, to obtain input and output energy, equivalence coefficients were used for each of them. The energy of each input and output was converted into MJ and the data were analyzed accordingly and the share of direct and indirect energies and also renewable and non-renewable energies of total energy consumption were calculated. To study the emission of greenhouse gases from chemical inputs including nitrogen, phosphorus, potassium, herbicides, insecticides and fungicides, information on the consumption of these inputs for products was examined. Carbon dioxide emissions were calculated using emission coefficients from the equations extracted from the different sources. To calculate global warming potential, carbon dioxide emission, methane and nitrous oxide were estimated.

**Results:** Results showed that, the input energy of wheat and rapeseed was 41810 and 33517 MJ. ha<sup>-1</sup>. Electricity, nitrogen fertilizer and fuel had the greatest impact. Direct energy was 22606 and 19434 MJ.ha<sup>-1</sup> and indirect energy was 19204 and 14083 MJ. ha<sup>-1</sup> for wheat and rapeseed respectively. Also, the input energy of renewable wheat and rapeseed was 5546 and 314 MJ.ha<sup>-1</sup>, and non-renewable energy was 36263 and 33202 MJ.ha<sup>-1</sup>, respectively. Energy efficiency for wheat and rapeseed was 1.32 and 2.15. Greenhouse gas emissions per hectare of wheat and rapeseed fields were 1438.5 and 1466 kg, respectively. Equivalent to carbon dioxide per hectare and the global warming potential was 18223 and 2238 tons of carbon dioxide, respectively. In this study, the sustainability index based on the amount of carbon input and output in wheat was 2.45 and in rapeseed was 1.17.

**Conclusion:** Based on results the most important inputs affecting Energy efficiency, greenhouse gas emissions and global warming potential in wheat and rapeseed production systems of Khorramshahr were nitrogen fertilizer, electricity and fuel. To reduce energy costs and maintain the environment healthy, the application of optimal chemical fertilizers rate, modern irrigation systems and appropriate tillage methods is a necessity.

**Keywords:** Agroecosystem, Energy Efficiency, Environment, Renewable Energy, Sustainable Agriculture

## سنجش بهره‌وری انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی و شاخص پایداری بوم نظام‌های گندم و کلزا در خرمشهر

آیدین خدایی جوقان\*<sup>۱</sup>، مرتضی تاکی<sup>۲</sup>، حمید مطوریان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۳

۱- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۳- دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

\*مسئول مکاتبه Email: a.khodaei@asnrkh.ac.ir

### چکیده

**اهداف:** مصرف بی‌رویه انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بوم نظام‌های تولید محصولات زراعی مخاطرات زیادی برای محیط زیست به همراه داشته‌است. هدف از این مطالعه بررسی کارایی مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارزیابی پایداری در مزارع گندم و کلزا شهرستان خرمشهر بود.

**مواد و روش‌ها:** جمع‌آوری داده‌ها به روش پرسشنامه و پایش مستمر در ۶۰ مزرعه گندم و ۵۷ مزرعه کلزا در سال ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. در نظام تولید گندم و کلزا، پس از جمع‌آوری داده‌ها، برای بدست آوردن انرژی حاصل از هر ورودی و خروجی برحسب مگاژول، از ضرایب معادل‌سازی انرژی برای هرکدام از نهاده‌های ورودی و خروجی استفاده گردید. سپس براساس نوع فعالیت‌های کشاورزی و نهاده‌های ورودی، سهم انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم و همچنین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر از انرژی کل مصرفی محاسبه گردید. برای بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از کاربرد نهاده‌های شیمیایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، علفکش، حشره‌کش و قارچ‌کش اطلاعات مربوط به میزان مصرف این نهاده‌ها برای محصولات مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از ضرایب انتشار، از طریق روابط استخراج شده از منابع گوناگون محاسبه شد. در این تحقیق با محاسبه کربن ورودی و خروجی پایداری بوم‌سامانه‌های گندم و کلزا مورد ارزیابی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج میزان انرژی ورودی در یک هکتار مزارع گندم و کلزا مورد مطالعه ۴۱۸۱۰ و ۳۳۵۱۷ مگاژول بود. از این مقدار به ترتیب ۲۲۶۰۶ و ۱۹۴۳۴ مگاژول بر هکتار انرژی مستقیم و ۱۹۲۰۴ و ۱۴۰۸۳ مگاژول بر هکتار انرژی غیرمستقیم مربوط به گندم و کلزا بود. همچنین میزان انرژی ورودی تجدیدپذیر گندم و کلزا به ترتیب ۵۵۴۶ و ۳۱۴ مگاژول بر هکتار و تجدیدناپذیر به ترتیب ۳۶۲۶۳ و ۳۳۲۰۲ مگاژول بر هکتار به دست آمد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک هکتار مزارع گندم و کلزا شهرستان به ترتیب ۱۴۳۸/۵ و ۱۴۶۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار و پتانسیل گرمایش جهانی به ترتیب ۱۸۲۲۳ و ۲۲۳۸ تن دی‌اکسیدکربن محاسبه گردید. در این مطالعه شاخص پایداری براساس میزان کربن ورودی و خروجی در گندم ۲/۴۵ و در کلزا ۱/۱۷ بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که در بوم سامانه‌های گندم و کلزای خرمشهر مهم‌ترین ورودی‌های تأثیرگذار بر کارایی انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی متغیرهای کود نیتروژن، الکتریسیته و سوخت بود که می‌توان با

کاربرد بهینه کودهای شیمیایی براساس نیاز گیاه، استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری و روش‌های مناسب خاکورزی به کاهش هزینه‌های مصرف انرژی و حفظ سلامت محیط زیست کمک کرد.

**واژه‌های کلیدی:** انرژی تجدیدپذیر، بوم سامانه زراعی، کارایی انرژی، کشاورزی پایدار، محیط زیست

#### مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت جهان و محدودیت انرژی، دسترسی به انرژی به مقدار کافی از بسیاری جهات در آینده مشکل‌تر خواهد بود. هم‌چنین پیش‌بینی می‌شود که در کشورهای جهان سوم به علت جوان بودن جمعیت، پتانسیل بیشتری برای رشد جمعیت در طی سال‌های آینده وجود داشته و ورود این نسل جدید به بازار اقتصاد کشورهای در حال توسعه موجب افزایش تقاضای کالا، خدمات و انرژی گردد. در حال حاضر تأمین امنیت غذایی برای جمعیت فزاینده جهان با حفظ منابع پایه زمین و آب و با حداقل اثرات محیط زیستی به یکی از چالش‌های اساسی در کشاورزی پایدار تبدیل شده است (محمدزاده و همکاران ۲۰۱۷). مباحث مربوط به موازنه انرژی از زمانی شروع گردید که بشر متوجه محدود بودن منابع انرژی فسیلی شد. در نتیجه تلاش برای برنامه‌ریزی دقیق مصرف و برآورد مصرف آن در بخش‌های مختلف بیشتر شد (پلاتیس و همکاران ۲۰۱۹).

محدودیت منابع انرژی و اثرات سوء مصرف منابع انرژی تجدیدناپذیر همچون سوخت‌های فسیلی بر محیط زیست و سلامت انسان به دلیل استفاده نادرست از انرژی امری مسلم است که مطالعه الگوی مصرف انرژی و نهاده‌های انرژی‌بر را در بوم نظام‌ها، ضروری ساخته است (سنایدر و همکاران ۲۰۰۹). هم‌چنین استفاده کارآمد از منابع انرژی یکی از مهم‌ترین اصول برای توسعه پایدار در کشاورزی است که منجر به کاهش چالش‌های زیست محیطی، جلوگیری از تخریب منابع طبیعی و افت سودمندی اقتصادی در بوم‌نظام‌های پایدار تولید محصولات زراعی خواهد شد (رجبی و همکاران ۲۰۱۲). در توسعه پایدار از منابع باید به گونه‌ای استفاده کرد که نه تنها نیاز نسل فعلی را

برآورده سازد، بلکه امکان تأمین نیازهای نسل آینده را نیز فراهم آورد (سماواتیان و همکاران ۲۰۱۱). ارزیابی کارایی مصرف نهاده‌ها در بوم نظام‌های کشاورزی در طراحی بوم نظام‌های پایدار و سازگار با محیط زیست نقش بسزایی دارد. هدف از مطالعه روند انرژی ورودی و خروجی نظام‌های زراعی، بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های عملکرد و تولید از طریق کاهش هزینه‌های مصرف انرژی است. تمام روش‌هایی که انسان برای افزایش کارایی تثبیت انرژی به کار می‌گیرد، با استفاده از انرژی‌های کمکی یا به اصطلاح یارانه انرژی است. انرژی مصرفی به طور مستقیم در عملیات کاشت، داشت، برداشت و بطور غیر مستقیم در تولید نهاده‌هایی از قبیل آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات، ذخیره‌سازی و خشک‌کردن محصولات و سایر نهاده‌هایی که در ارتباط با تولید محصول می‌باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از رویکردهای مناسب در جهت کاهش انرژی‌های ورودی و از سوی دیگر افزایش انرژی خروجی، بررسی و ارزیابی شاخص‌های به دست آمده از مطالعات منطقه‌ای می‌باشد. این که چه عواملی چگونه و به چه میزان بیشترین تأثیر را در مقدار این شاخص‌ها می‌گذارند در کنار بررسی امکان جایگزینی آنها با سایر عوامل و با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی، در نهایت می‌تواند منجر به بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی گردد.

در بررسی جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید گندم دیم در منطقه کالپوش استان سمنان، امیدمهر (۲۰۱۶) نشان داد که کل مصرفی ناشی از کاربرد نهاده‌ها در سه روش کشت رایج، کم‌خاکورزی و مستقیم بین ۱۳۹۰۰ تا ۱۸۷۱۳ مگاژول بر هکتار متغیر بود. بیشترین و کمترین مقدار ظرفیت گرمایش جهانی به ترتیب مربوط

با داشتن ویژگی های زراعی مناسب به ویژه امکان کشت پائیزه آن، قرار گرفتن در تناوب با غلات، درصد روغن مناسب دانه و پروتئین کنجاله دانه یکی از مهمترین محصولات دانه روغنی ایران می باشد (قاسمی و همکاران ۲۰۲۰).

کشت های رایج منطقه خرمشهر در فصل زمستان گندم، جو و کلزا و در فصل تابستان صیفی، سبزی و شلتوک و در جنوب آن و بخش مینو شامل نخیلات و میانه کاری آن با گیاهانی مانند یونجه است. سطح زیرکشت گندم و کلزا در شهرستان در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به ترتیب ۱۲۶۶۸ و ۵۲۷ هکتار و میزان برداشت آن ۳۰۵۰۲ و ۹۲۲ تن بوده است که نشان دهنده اهمیت آن ها در الگوی کشت منطقه می باشد (احمدی و همکاران ۲۰۱۹). با توجه به سطح زیر کشت و مقدار تولید قابل توجه گندم و کلزا در خرمشهر و از آنجا که تاکنون بررسی راندمان مصرف انرژی در بوم سامانه های این دو محصول انجام نشده است، این مطالعه به منظور بررسی وضعیت جریان انرژی ورودی و خروجی، بهره روری مصرف انرژی، عملکرد انرژی خالص، میزان انتشار گازهای گلخانه ای، پتانسیل گرمایش جهانی و شاخص پایداری در بوم نظام های فاریاب گندم و کلزا در منطقه خرمشهر و به منظور بهینه سازی الگوی مصرف انرژی انجام شد.

#### مواد و روش ها

مطالعه مورد نظر در شهرستان خرمشهر انجام گرفت. مختصات جغرافیایی این شهرستان  $30^{\circ}42'56''E$   $48^{\circ}18'91''N$  بوده و متوسط دما و میانگین بارش ۶۰ ساله در شهرستان خرمشهر به ترتیب ۲۸/۲ درجه سلسیوس و ۱۵۳/۳ میلی متر می باشد. به منظور برآورد جریان انرژی، پایش مزارع در ۶۰ مزرعه گندم و ۵۷ مزرعه کلزا منطقه خرمشهر در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام و اطلاعات مورد نیاز جمع آوری شد. داده ها از طریق پایش مستمر مزارع در طول فصل رشد و همچنین مصاحبه شخصی با کشاورزان جمع آوری شدند. مزارع با کمک مراکز خدمات کشاورزی شهرستان خرمشهر انتخاب شدند.

به کشت رایج و کشت مستقیم بود. همچنین روش کم-خاکورزی بیشترین عملکرد را ایجاد کرد. اصغری پور و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی الگوی مصرف انرژی در تولید گندم آبی شهرستان کرمانشاه را بررسی کردند. نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی حدود ۴۱۹۲۱/۸ مگاژول در هکتار بوده و در بین نهاده های ورودی انرژی، کود نیتروژن با ۲۸ درصد و پس از آن سوخت دیزل با ۱۳ درصد بیشترین سهم ها را دارا بودند. کل انتشار  $CO_2$ ،  $N_2O$  و  $CH_4$  در مزارع گندم به ترتیب ۱۲۴۸/۱، ۸۵۵/۶ و ۱/۶ کیلوگرم در هکتار بود. کاظمی و زارع (۲۰۱۴) در مطالعه ای جریان انرژی در مزارع گندم شهرستان های گرگان و مرودشت نشان دادند که از انرژی ورودی کل در دو بوم نظام زراعی، کودهای شیمیایی و سوخت بالاترین مصرف انرژی را داشتند و متغیرهای ماشین آلات و آبیاری در مکان بعدی قرار گرفتند. در این تحقیق کارایی مصرف انرژی برای مزارع گرگان ۲/۹۱ و در مزارع مرودشت ۲/۵۶ محاسبه شد. در مطالعه صورت گرفته توسط حبیبی زاده و غلامی پرشکوهی (۲۰۱۶) در خصوص بررسی مصرف انرژی در دو روش سنتی و مکانیزه برای تولید برنج رقم های هاشمی و گوهر در شهرستان صومعه سرا مجموع کل انرژی نهاده در روش سنتی و مکانیزه تولید برنج گوهر به ترتیب برابر ۱۲۳۱۲ و ۲۱۱۱۲ مگاژول در هکتار و در تولید برنج هاشمی به ترتیب برابر ۱۲۲۶۶ و ۱۳۱۲۱ مگاژول در هکتار بود. بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به نهاده بذر، سم و کود شیمیایی بود.

در ایران گندم مهم ترین گیاه زراعی به شمار می رود به طوری که هر ساله بیش از ۵۰ درصد از کل زمین های قابل کشت را به خود اختصاص داده است. استان خوزستان یکی از مهم ترین قطب های تولید گندم در کشور بوده و سالانه حدود ۱۹ درصد تولید گندم کل کشور را به خود اختصاص می دهد. در همین حال در سال های اخیر به طور میانگین ۵۳۵ هزار هکتار زمین در استان خوزستان زیر کشت گندم بوده است (احمدی و همکاران ۲۰۱۹). همچنین در سال های اخیر با توجه به کمبود منابع روغن های گیاهی، سطح زیر کشت کلزا در کشور و خوزستان افزایش یافته است. در حال حاضر کلزا

زراعت گندم و کلزا، استفاده گردید (جدول ۱). بدین- ترتیب انرژی حاصل از هر کدام از نهاده‌های ورودی و خروجی بر حسب مگاژول به‌دست آمده و داده‌ها بر این اساس تجزیه و تحلیل شدند.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، برای بدست آوردن انرژی حاصل از هر ورودی و خروجی، از ضرایب معادل‌سازی انرژی برای هرکدام از نهاده‌های ورودی و خروجی در

جدول ۱- معادل‌های انرژی ورودی‌های موجود در سیستم‌های تولید گندم و کلزا

منبع	معادل انرژی	واحد	ورودی/خروجی
ورودی			
ازکان و همکاران، ۲۰۰۴	۱۵/۷	کیلوگرم	بذر گندم
ازکان و همکاران، ۲۰۰۴	۲۵	کیلوگرم	بذر کلزا
ازکان و همکاران، ۲۰۰۴	۱/۹۶	ساعت	نیروی انسانی
سینگ و همکاران، ۲۰۰۷	۱۴۲/۷	ساعت	ماشین‌آلات
آکاز مکاران، ۲۰۰۹	۶۰/۶	کیلوگرم	نیترژن
آکاز مکاران، ۲۰۰۹	۱۱/۱	کیلوگرم	فسفر
آکاز مکاران، ۲۰۰۹	۶/۷	کیلوگرم	پتاسیم
سینگ و همکاران، ۲۰۰۷	۳۸	لیتر	سوخت
کالتستز و همکاران، ۲۰۰۷	۱۲/۱	کیلووات ساعت	الکتریسیته
تیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵	۲۷۸	لیتر	علف کش
خروجی			
ازکان و همکاران، ۲۰۰۴	۱۵/۷	کیلوگرم	بذر گندم
ازکان و همکاران، ۲۰۰۴	۲۵	کیلوگرم	بذر کلزا
رجبی و همکاران، ۲۰۱۲	۹/۲۵	کیلوگرم	کاه گندم
ازکان و همکاران، ۲۰۰۴	۱۴/۳	کیلوگرم	کاه کلزا

در این مطالعه براساس نوع فعالیت‌های کشاورزی و نهاده‌های ورودی که در سیستم‌های مختلف استفاده می-شوند، سهم انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم و همچنین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر از انرژی کل مصرفی محاسبه گردید. براساس نوع نهاده‌ها، انرژی‌های مستقیم شامل نیروی کارگری، سوخت، انرژی برق و آب و انرژی‌های غیرمستقیم شامل بذر، کود دامی، کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و ماشین-آلات بودند. انرژی‌های نیروی کارگری، بذر، آب و کود دامی، انرژی تجدیدپذیر و انرژی‌های سوخت، برق، کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و ماشین‌آلات متعلق به انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌باشند. انرژی ماشین‌آلات از تقسیم جرم ماشین (کیلوگرم) به عمر تخمینی (ساعت) ضربدر ساعت کارکرد ماشین در انرژی معادل ساخت هر کیلوگرم به‌دست‌آمد. متغیر نیروی انسانی، از مجموع ساعات نیروی کارگری که

در مزارع تولید گندم و کلزا، انرژی‌های خروجی شامل دانه و کاه و کلش است که انرژی حاصل از تولید هرکدام از آنها جداگانه محاسبه شد. در این پژوهش برای محاسبه مولفه‌های مختلف از روابط ۱ تا ۴ بهره گرفته شد (فیض‌بخش و سلطانی، ۲۰۱۳).

$$E_R = E_{Ou} / E_{In} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$E_P = Y / E_{In} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$E_I = E_{In} / Y \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$NEG = E_{Ou} - E_{In} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این روابط  $E_{Ou}$  انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)،  $E_{In}$  انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)،  $E_R$  کارایی مصرف

انرژی ۱ (درصد)،  $Y$  عملکرد (کیلوگرم در هکتار)،  $E_I$  شدت انرژی ۲ (مگاژول بر کیلوگرم)،  $E_P$  بهره‌وری انرژی ۳ (کیلوگرم بر مگاژول) و  $NEG$  انرژی خالص ۴ (مگاژول بر هکتار) است.

پس از ضرب در واحد تبدیل آن بصورت مگاژول در هکتار محاسبه گردید. عملکرد دانه و میزان کاه و کلش نیز در مزارع مختلف ثبت و سپس برای شهرستان میانگین گرفته شد. این متغیرها به عنوان خروجی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای محاسبه میزان خالص کاه و کلش خروجی از مزارع با احتساب این که ۲۵ درصد از کاه و کلش در مزرعه باقی می‌مانند، از روش رجبی و همکاران (۲۰۱۲) استفاده گردید. بدین ترتیب که میزان انرژی موجود در کاه و کلش خالص از حاصل ضرب کل خروجی کاه و کلش در عدد ۰/۷۵ به دست آمد. برای بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از کاربرد نهاده‌های شیمیایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، علف-کش، حشره‌کش و قارچ‌کش نیاز به اطلاعات مربوط به میزان مصرف این نهاده‌ها برای محصولات مورد بررسی بود. انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن با استفاده از ضرایب انتشار به شرح جدول ۲ که از طریق روابط استخراج شده از منابع گوناگون به دست آمد، محاسبه گردید.

پتانسیل گرمایش جهانی، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن، متان و اکسیدنیتروژن براساس جدول ۳ محاسبه شد. تأثیر هر کدام از گازهای دی‌اکسیدکربن، متان و اکسیدنیتروژن بر گرمایش زمین متفاوت می‌باشد، به طوری که هر واحد متان و اکسیدنیتروژن به ترتیب حدود ۲۱ و ۳۱۰ برابر دی‌اکسیدکربن در گرمایش زمین نقش دارند. واحد این شاخص به صورت معادل دی‌اکسیدکربن بیان گردید. میزان پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس رابطه ۵ محاسبه شد.

$$GWP = CO_2flux + (N_2Oflux \times 310) + (CH_4flux \times 21)$$

جدول ۲- معادل گازهای گلخانه‌ای در سیستم های تولید گندم و کلزا

منبع	ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای	واحد	ورودی
پیشگاکمله و همکاران، ۲۰۱۳	۱/۹۵	ساعت	نیروی انسانی
دیر و دسجاردینز، ۲۰۰۳	۰/۰۷۱	مگاژول	ماشین آلات
لال، ۲۰۰۴	۱/۳	کیلوگرم	کود نیتروژن
لال، ۲۰۰۴	۰/۲	کیلوگرم	کود فسفر
لال، ۲۰۰۴	۰/۲	کیلوگرم	کود پتاسیم
لال، ۲۰۰۴	۶/۳	کیل گرم	علف‌کش
لیو و همکاران، ۲۰۱۳	۰/۶۰۸	کیلووات ساعت	الکتریسیته
دیر و دسجاردینز، ۲۰۰۳	۲/۷۶	لیتر	سوخت

صرف عملیات‌های مختلف زراعی از جمله شخم، دیسک، تسطیح، مرزبندی، کاشت بذر، کودپاشی، سمپاشی، آبیاری، برداشت و حمل و نقل می‌شود، محاسبه گردید. نهاده ماشین‌آلات به عنوان یکی از متغیرهای ورودی به مزرعه، شامل ساعات کار ماشین‌آلات و ادواتی می‌باشد که از کاشت تا برداشت و حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقدار گازوئیل و روغنی که جهت سوخت ماشین‌آلات مختلف برای شخم، کاشت، آبیاری، کودهی، برداشت و نیز حمل و نقل در یک هکتار مزرعه گندم مصرف گردید، در زیر مجموعه متغیر سوخت قرار گرفت.

یکی از مهم‌ترین متغیرهای ورودی به بوم‌نظام‌های کشاورزی کودهای شیمیایی است. از کودهای شیمیایی مورد استفاده در مزارع می‌توان به نیتروژن، فسفر و پتاسیم اشاره کرد. مقادیر این کودها به صورت خالص در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر مصرف سموم کشاورزی شامل علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها مورد استفاده در مناطق مورد مطالعه نیز جمع‌آوری شد و تحت متغیر مواد شیمیایی ارزیابی گردیدند. یکی از نهاده‌های ورودی در این منطقه آب است. بخش زیادی از اراضی این مناطق برای تأمین آب از پمپ‌های الکتریکی استفاده می‌کنند. میزان الکتریسیته مورد استفاده در مزرعه (کیلووات در ساعت) براساس کارکرد کنتور برق در طول رشد محصول ثبت شد و سپس با استفاده از ضریب تبدیل، مقدار انرژی ورودی الکتریسیته برحسب مگاژول در هکتار به دست آمد. مقدار بذر مصرفی در هر هکتار مزرعه گندم و کلزا نیز ثبت و رابطه (۵)

N<sub>2</sub>Oflux انتشار اکسید نیتروژن حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی و CH<sub>4</sub>flux انتشار متان حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشند.

در این معادله، GWP پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار)، CO<sub>2</sub>flux انتشار دی‌اکسیدکربن حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی،

جدول ۳- معادل پتانسیل گرمایش جهانی در سیستم های تولید گندم و کلزا

منبع	متان	اکسیدنیتروژن	دی‌اکسیدکربن	ورودی
کرامر و همکاران، ۱۹۹۹	۵/۲۰	۰/۷۰	۳۵۶۰	سوخت (لیتر)
سنایدر و همکاران، ۲۰۰۹	۳/۸۰	۰/۰۳	۳۱۰۰	کود نیتروژن (کیلوگرم)
سنایدر و همکاران، ۲۰۰۹	۱/۷۰	۰/۰۲	۱۰۰	فسفات (کیلوگرم)
سنایدر و همکاران، ۲۰۰۹	۱	۰/۰۱	۷۰۰	پتاسیم (کیلوگرم)
تیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵	۰/۰۲	۸/۸۲	۶۱/۲	الکتریسیته (کیلووات‌ساعت)
تیلیواکیس و همکاران، ۲۰۰۵	۲۱	۳۱۰	۱	ضریب پتانسیل گرمایش جهانی (معادل دی‌اکسیدکربن)

### نتایج و بحث

#### کارایی مصرف انرژی

مقادیر انرژی ورودی نهاده‌های مختلف و سهم هر کدام از آنها در جدول ۴ نشان داده شده‌است. میزان انرژی مربوط به هر نهاده از حاصل ضرب مقدار مصرف در معادل انرژی هر نهاده محاسبه‌شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و انرژی خالص برای گندم به ترتیب ۱/۳۲، ۰/۰۹ کیلوگرم بر مگاژول، ۱۱/۴۴ مگاژول بر کیلوگرم و ۵۱۲۲۳ مگاژول بر هکتار و کلزا ۲/۱۵، ۰/۰۶ کیلوگرم بر مگاژول، ۱۶/۲۴ مگاژول بر کیلوگرم و ۳۸۵۴۷ مگاژول بر هکتار به‌دست‌آمد.

انرژی معادل الکتریسیته بیشترین سهم انرژی ورودی معادل ۳۵/۶۹ درصد در گندم و ۴۱/۲۳ درصد در کلزا از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داد. خسروی و ایمانی (۲۰۱۱) سهم انرژی الکتریسیته در یک مزرعه گندم را ۳۶ درصد برآورد نمودند. انرژی ورودی الکتریسیته صرف تامین آب مزارع توسط پمپ‌های برقی می‌شود که براساس دبی، دفعات آبیاری و مدت زمان هر آبیاری محاسبه گردید. در مقایسه با سایر نهاده‌ها کود نیتروژن با ۲۶ درصد از کل در گندم و ۳۲ درصد از کل در کلزا، در رده دوم بیشترین سهم انرژی ورودی قرار گرفت که از دلایل آن بالا بودن مصرف این کود در مزارع و معادل انرژی بیشتر آن است. ازکان و همکاران (۲۰۰۴) مصرف انرژی در تولید میوه های لیمو، پرتقال، نارنگی

در این مطالعه ارزیابی مصرف کربن و انتشار گازهای گلخانه‌ای و شاخص پایداری طبق رابطه ۶ پیش-بینی شد (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۴).

$$I_s = (C_o - C_i) / C_i \quad (۶) \text{ رابطه}$$

در این معادله I<sub>s</sub> شاخص پایداری، C<sub>o</sub> میزان کل کربن خروجی شامل دانه، ساقه و ریشه و C<sub>i</sub> میزان کل کربن ورودی که نشان‌دهنده کل محتوای کربن ناشی از ورودی‌های شیمیایی، سوخت و الکتریسیته می‌باشد. جهت محاسبه C<sub>i</sub> از حاصلضرب میزان دی‌اکسیدکربن ناشی از نهاده‌های ورودی در وزن مولکولی کربن نسبت به CO<sub>2</sub> که حدود ۰/۲۷ استفاده شد. میزان کل کربن خروجی (C<sub>o</sub>) از حاصل جمع میزان کربن دانه، ساقه، ریشه و ترشحات ریشه طبق روابط ۷-۱۰ به‌دست آمد (یوسفی و همکاران ۲۰۱۴).

$$C_p = Y_p \times 0.45 \quad (۷) \text{ رابطه}$$

$$C_s = [Y_p (1 - HI) / HI] \times 0.45 \quad (۸) \text{ رابطه}$$

$$C_r = [Y_p / S:R \times HI] \times 0.45 \quad (۹) \text{ رابطه}$$

$$C_r = C_r \times 0.65 \quad (۱۰) \text{ رابطه}$$

در معادلات ۷ تا ۱۰ C<sub>p</sub> میزان کربن خروجی دانه، C<sub>s</sub> میزان کربن خروجی ساقه، C<sub>r</sub> میزان کربن خروجی ریشه و C<sub>r</sub> میزان کربن خروجی ترشحات ریشه می‌باشد. ضریب ۰/۴۵ درصد کربن هر گرم ماده خشک بوده و شاخص برداشت از حاصل تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک می‌باشد.

ارزیابی داده‌های جمع‌آوری شده نشان‌داد در مزارع تولید گندم، حداقل به میزان ۵۱/۳۶ مگاژول (۰/۱۲ درصد) کود پتاسیم استفاده شده است که کمترین مقدار انرژی ورودی به مزارع در منطقه به همین متغیر تعلق داشت. از کل مزارع مورد مطالعه فقط پنج مزرعه با متوسط ۹۲ کیلوگرم در هکتار از این نوع کود استفاده کردند که نشان از عدم رغبت کشاورزان به استفاده از آن می‌باشد که از دلایل آن می‌توان به بالا بودن قیمت و عدم ترویج استفاده از این نوع کود و کودهای میکرو در منطقه است.

برای محاسبه انرژی خروجی از نظر بیولوژیک، کل زیست ماده (بیوماس) تولیدی در سطح زمین و در محاسبات اقتصادی، محصول دارای ارزش اقتصادی را در نظر گرفته می‌شود. میانگین انرژی خروجی در مزارع مورد مطالعه گندم و کلزا، پس از تعیین میزان عملکرد محصول و ضرایب تبدیل به ترتیب ۹۳۰۳۳ و ۷۲۰۶۵ مگاژول در هکتار محاسبه گردید (جدول ۵).

را مورد بررسی قرار دادند که بر طبق نتایج در تولید لیمو، بیشترین تمرکز انرژی مربوط به انرژی نهاده کود شیمیایی (۴۹/۶۸ درصد) به خصوص کود نیتروژن بود. سوخت مصرفی به عنوان یکی از ورودی‌های انرژی برای عملیات آماده‌سازی زمین، عملیات زراعی و حمل و نقل استفاده می‌شود. نتایج این تحقیق نشان‌داد که در تولید گندم و کلزا انرژی معادل سوخت به ترتیب برابر ۶۷۶۵ (۱۶/۱۹ درصد) و ۵۰۶۰ مگاژول در هکتار (۱۵/۱۰ درصد) بود. متوسط مقدار انرژی سوخت مصرفی در مزارع گندم و کلزا مورد مطالعه به ترتیب به ازا ۱۴۱/۵ و ۱۰۵/۸ لیتر سوخت مصرفی بود که بخش اعظم این سوخت صرف عملیات خاکورزی و برداشت محصول می‌گردد. یکی از روش‌های کاهش مصرف سوخت و بهینه سازی آن استفاده از ادوات زراعی مناسب مانند دستگاه کمباین است. این دستگاه تردد تراکتور را در مزرعه کاهش داده و منجر به کاهش استهلاک تراکتور و مصرف سوخت می‌شود (رجبی و همکاران، ۲۰۱۲).

جدول ۴- مقادیر انرژی ورودی در سیستم های تولید گندم و کلزا

ورودی	میانگین (MJ.ha <sup>-1</sup> )		%
	کلزا	گندم	
نیروی انسانی	۱۰۳	۰/۲۵	۰/۲۷
حمل و نقل	۸۱۵/۸۱	۱/۹۵	۱/۳۷
بذر	۵۴۴۳/۵۸	۱۳/۰۱	۰/۶۷
کود نیتروژن	۱۰۸۸۴/۰۲	۲۶/۰۳	۳۲/۰۵
کود فسفات	۱۴۲۵/۹۵	۳/۴۱	۴/۷۴
کود پتاسیم	۵۱/۳۶	۰/۱۲	۰/۳۲
علفکش	۳۲۲/۴۹	۰/۷۸	۰/۵۹
الکتریسیته	۱۴۹۲۲	۳۵/۶۹	۴۱/۲۳
سوخت	۶۷۶۵/۸۰	۱۶/۱۹	۱۵/۱۰
ساخت و استهلاک	۱۰۷۶/۱۵	۲/۵۷	۳/۶۶
مجموع	۴۱۸۱۰/۱۶	۳۳۵۱۷/۲۲	۱۰۰

جدول ۵- مقادیر انرژی خروجی در سیستم های تولید گندم و کلزا

خروجی	میانگین (MJ.ha <sup>-1</sup> )		درصد
	کلزا	گندم	
کاه	۲۷۶۶۵	۲۰/۵	۲۸/۶
دانه	۵۵۳۶۸	۵۹/۵	۷۱/۴
مجموع	۹۳۰۳۳	۷۲۰۶۵	۱۰۰



میانگین بهره‌وری در مزارع گندم و کلزا مورد بررسی ۰/۰۹ و ۰/۰۶ کیلوگرم بر مگاژول به‌دست آمد که نشان از مصرف بالای انرژی در عملکرد برابر است. امیدمهر (۲۰۱۶) گزارش داد که در سه روش کاشت رایج، کم-خاکورزی و مستقیم، روش کشت مستقیم گندم به دلیل مصرف کمتر انرژی نسبت به دو روش دیگر دارای بهره‌وری بالاتری بود. بهره‌وری انرژی نشان‌دهنده این است که در هر زمان برای هر نوع محصول مشخص در هر منطقه، به ازای هر واحد انرژی مصرفی، چه میزان تولید می‌شود و رابطه مستقیم با شاخص دارد (حبیبی‌زاده و غلامی ۲۰۱۷).

میانگین انرژی مصرف شده در هر هکتار مزرعه گندم آبی مورد مطالعه ۴۱۸۱۰ مگاژول در هکتار بود. در جدول ۶ مقادیر انرژی ورودی مستقیم و غیرمستقیم و سهم هر کدام ارائه شده است. میانگین انرژی ورودی مستقیم و غیر مستقیم به ترتیب ۲۲۶۰۷ (۵۴ درصد) و ۱۹۲۰۴ (۴۶ درصد) مگاژول در هکتار به‌دست آمد. از منظر انرژی ورودی مستقیم سوخت و الکتریسیته به ترتیب با میانگین ۶۷۶۶ و ۱۴۹۲۲ مگاژول در هکتار (۹۵/۹۲ درصد) بیشترین سهم را داشتند. میانگین انرژی ورودی مزارع کلزا ۳۳۵۱۷ مگاژول بر هکتار بود که از این مقدار ۱۹۴۳۴ مگاژول در هکتار مستقیم و ۱۴۰۸۳ مگاژول در هکتار غیرمستقیم به‌دست آمد.

جدول ۶- مقدار انرژی مستقیم و غیرمستقیم در سیستم های تولید گندم و کلزا

درصد	میانگین (MJ.ha <sup>-1</sup> )		ورودی
	کلزا	گندم	
			<b>انرژی مستقیم</b>
			سوخت
			نیروی انسانی
			حمل و نقل
			الکتریسیته
			مجموع
			<b>انرژی غیرمستقیم</b>
			بذر
			کود نیتروژن
			کود فسفر
			کود پتاسیم
			علف کش
			ساخت و استهلاک
			مجموع
			مجموع کل

روش‌های کم‌خاکورزی شدت مصرف انرژی را کاهش داد. بازده انرژی برای تولید گندم عدد ۲/۲ را نشان داد که بیان‌کننده این است که به ازاء هر یک مگاژول انرژی ورودی ۲/۲ مگاژول انرژی معادل محصول تولید شده است. در کلزا رقمی معادل ۲/۱۵ به‌دست آمد. از دلایل بالابودن بازده انرژی استفاده از تناوب زراعی است.

شدت انرژی بیان‌کننده انرژی صرف شده برای تولید هر واحد از محصول است. میانگین شدت انرژی به‌دست آمده در زراعت گندم و کلزا به ترتیب ۱۱/۵ و ۱۶/۲۴ مگاژول بر کیلوگرم بود. در مطالعه بورین و همکاران (۱۹۹۷) شدت انرژی مصرفی با افزایش عملیات خاکورزی رابطه مستقیم داشت که می‌توان با استفاده از

کشت مداوم یک محصول در یک زمین علاوه بر کاهش عملکرد محصول باعث هجوم علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها می‌شود که این عوامل باعث استفاده بیشتر از نهاده‌های مصرفی می‌گردد که علاوه بر کاهش کارایی انرژی باعث افزایش آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود. مورنو و همکاران (۲۰۱۱) در ارزیابی ۱۵ ساله جریان انرژی در تناوب‌های زراعی بر مبنای جو در نظام‌های مختلف کشت در منطقه نیمه خشک کاستیلا لامانچا در اسپانیا نشان دادند که تناوب جو-ماشک تحت نظام کشت ارگانیک، دارای بیشترین نسبت انرژی خروجی به ورودی و کارایی مصرف انرژی بیشتر نسبت به بقیه نظام‌های کشت بود.

سهم انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در کشتزارهای گندم به ترتیب ۱۳/۳ و ۸۶/۷ درصد و در مزارع مورد مطالعه کلزا این ارقام به ترتیب ۱ و ۹۹ درصد محاسبه شد (جدول ۷). از دلایل پایین بودن درصد انرژی تجدیدپذیر در کلزا مصرف کمتر بذر در این محصول است. نتایج حاصل نشان‌دهنده وابستگی شدید این نظام-های کشت به منابع تجدیدناپذیر انرژی است که خود

بیانگر ناپایداری این سامانه‌های تولیدی می‌باشد. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به جای منابع تجدیدناپذیر یکی از عوامل مهم در بالا بردن پایداری نظام‌های تولید می‌باشد. وابستگی شدید به منابع تجدیدناپذیر انرژی موجب افزایش آلودگی‌های زیست محیطی می‌گردد. یکی از مهم‌ترین اقدامات در جهت کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر انرژی در تولید محصولات زراعی، کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژن از طریق روش‌های اکولوژیک، مدیریت آبیاری، قرار دادن بقولات در تناوب زراعی، استفاده از کود سبز و استفاده از کود دامی می‌باشد. استفاده از سامانه‌های آبیاری مدرن، تعویض پمپ‌های آبیاری کم‌بازده و همچنین استفاده از ماشین‌آلات مدرن و کارآمد از نظر مصرف سوخت و نیز بهره‌گیری از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی همچون کم خاک‌ورزی از دیگر راهکارهای پیش رو جهت کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر انرژی در تولید محصولات زراعی می‌باشد.

جدول ۷- میزان انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در سیستم‌های تولید گندم و کلزا

ورودی	میانگین (MJ.ha <sup>-1</sup> )		%
	کلزا	گندم	
<b>تجدیدپذیر</b>			
بذر	۵۴۴۳/۵۸	۲۲۲/۳۶	۷۰/۷۳
نیروی انسانی	۱۰۳	۹۲	۲۹/۲۷
مجموع	۵۵۴۶/۵۸	۳۱۴/۳۶	۱۰۰
<b>تجدیدناپذیر</b>			
الکتریسیته	۱۴۹۲۲	۱۳۸۲۱/۱۴	۴۱/۶۳
کود نیتروژن	۱۰۸۸۴/۰۲	۱۰۷۴۲/۳۰	۳۲/۳۵
کود فسفر	۱۴۲۵/۹۵	۱۵۸۶/۱۲	۴/۷۸
حمل و نقل	۸۱۵/۸۱	۴۶۰/۴۲	۱/۳۹
سوخت	۶۷۶۵/۸۰	۵۰۶۰/۰۲	۱۵/۲۴
کود پتاسیم	۵۱/۳۶	۱۰۶	۰/۳۲
علف کش	۳۲۲/۴۹	۱۹۸/۸۴	۰/۵۹
ساخت و استهلاک	۱۰۷۶/۱۵	۱۲۲۸/۰۲	۳/۷۰
مجموع	۳۶۲۶۳/۵۸	۳۳۲۰۲/۸۶	۱۰۰
مجموع کل	۴۱۸۱۰	۳۳۵۱۷/۲۲	۱۰۰

## انتشار گازهای گلخانه‌ای

سهم نهاده‌های ورودی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در جدول ۸ آورده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک هکتار زراعت گندم و کلزا برابر با ۱۴۳۸/۵ و ۱۴۶۵/۸ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بوده که الکتریسیته، کود نیتروژن و سوخت بیشترین سهم از کل انتشار گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند.

نتایج نشان داد که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از الکتریسیته بالاتر از دیگر نهاده‌ها بود که از دلایل آن استفاده از الکتروپمپ‌ها در آبیاری مزارع است. در این راستا می‌توان با احداث شبکه‌های آبیاری، پوشش انهار و استفاده از لوله، نسبت به کاهش تلفات در سیستم انتقال آب و افزایش بازده آبیاری در سطح مزرعه با استفاده از روش‌های نوین آبیاری، مصرف الکتریسیته و به تبع آن انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد. طبق یافته‌های جدول ۸، رتبه دوم با بالاترین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از کاربرد کود نیتروژن می‌باشد که از دلایل آن بالا بودن ضریب انتشار کود نیتروژن نسبت به بقیه کودهاست (لال ۲۰۰۴). بیشتر ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از نهاده کود نیتروژن مربوط

به فرایند تثبیت و تولید نیتروژن می‌باشد (تیپی و همکاران ۲۰۰۹). کارل و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کود نیتروژن در کشور چین نشان دادند که با افزایش مصرف کود شیمیایی نیتروژن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به شدت افزایش یافت و اعلام نمودند که کاهش مصرف کودهای شیمیایی یکی از مهم‌ترین راهبردهای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم می‌باشد. رجبی و همکاران (۲۰۱۲) یکی از مهم‌ترین نهاده‌های دخیل در انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی را کود نیتروژن اعلام کردند. اسنایدر و همکاران (۲۰۰۹) تأکید نمودند که کاربرد کود شیمیایی نیتروژن به عنوان یک منبع اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای بوده و در بین کودهای مختلف نیتروژن، کود اوره بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را باعث شد که از دلایل آن بالا بودن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند تولید کود اوره در کارخانه است. همچنین کودهای شیمیایی، منجر به فعالیت و در نتیجه تنفس بیشتر ریشه و ریز موجودات خاک شده و افزایش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را باعث می‌گردند (گیلو و همکاران ۲۰۱۱).

جدول ۸- انتشار دی‌اکسیدکربن (کیلوگرم) ورودی در سیستم های تولید گندم و کلزا

ورودی	میزان		ضریب	معادل (kg CO <sub>2</sub> )		درصد
	کلزا	گندم		کلزا	گندم	
نیروی انسانی (ساعت)	۵۲	۵۰/۳۵	۱/۹۵	۱۰۱/۴	۹۸/۱۸	۶/۷۰
ماشین‌آلات (مگاژول)	۱۰۰۸	۴۶۰	۰/۰۷۱	۷۱/۵	۳۲/۶۶	۲/۲۳
کود نیتروژن (کیلوگرم)	۲۳۱	۲۲۸	۱/۳	۳۰۰/۳	۲۹۶/۴	۲۰/۲۲
کود فسفر (کیلوگرم)	۹۰	۱۰۰/۳۵	۰/۲	۱۸	۲۰/۰۷	۱/۳۶
کود پتاسیم (کیلوگرم)	۹۲	۱۰۰	۰/۲	۱۸/۴	۲۰	۱/۳۶
علف‌کش (لیتر)	۱/۳	۰/۸۳	۶/۳	۸/۲	۵/۲۲	۰/۳۶
الکتریسیته (کیلووات ساعت)	۱۳۱۷	۱۱۴۸	۰/۶۰۸	۸۰۰/۷	۶۹۸	۴۷/۶۳
سوخت (لیتر)	۴۳/۵	۱۰۷	۲/۷۶	۱۲۰	۲۹۵/۳۲	۲۰/۱۴
مجموع				۱۴۳۸/۵	۱۴۶۵/۸۵	۱۰۰

گندم در مزارع شهرستان خرمشهر (۱۲۶۶۸ هکتار) ۵۹۹۰۲ تن معادل دی اکسیدکربن بود. نتایج نشان داد که حدود ۷۲ درصد از پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف نهاده‌های شیمیایی در زراعت کلزا، مربوط به نهاده الکتریسیته بود (جدول ۱۰). کود نیتروژن و سوخت نیز به ترتیب حدود ۱۶/۳ و ۹/۳ درصد این شاخص را شامل شدند. نهاده‌های شیمیایی پتاسیم و فسفر نیز در مجموع ۲/۴ درصد از پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به زراعت کلزا در شهرستان خرمشهر را به خود اختصاص دادند.

نتایج مقایسه بین انرژی‌های ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن‌ها نشان داد که بین انرژی‌های ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن ارتباط مستقیمی وجود دارد. به دلیل حفظ منابع طبیعی، توسعه نظام‌های کشاورزی با حداقل انرژی ورودی می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی کمک شایانی نماید.

نهاده سوخت در رده بعدی بالاترین عامل انتشار گازهای گلخانه‌ای قرار گرفت. انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی در طی اجرای عملیات زراعی (کاشت تا برداشت) به دست می‌آیند (وود و کووی ۲۰۰۴). رجبی و همکاران (۲۰۱۲) بیشترین سهم در مصرف سوخت در بین عملیات زراعی مختلف در تولید گندم را عملیات خاک ورزی اعلام کردند. در نتیجه می‌توان با استفاده از روش‌های مناسب خاک‌ورزی از جمله کم‌خاک‌ورزی و استفاده از گاواهن قلمی به جای گاواهن برگردان‌دار انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از این نهاده را کاهش داد (رحیم‌زاده و همکاران ۲۰۰۷).

#### پتانسیل گرمایش جهانی

نتایج نشان داد که پتانسیل گرمایش جهانی در نتیجه مصرف نهاده‌های مختلف در مزارع مورد مطالعه گندم (۲۶۷۴ هکتار) سالانه ۱۲۶۴۴ تن معادل دی اکسیدکربن است (جدول ۹). همچنین گرمایش جهانی حاصل از کشت

جدول ۹- پتانسیل گرم شدن کره زمین (GWP) (معادل کیلوگرم دی اکسیدکربن) برای سیستم‌های تولید گندم

ورودی	دی اکسیدکربن	اکسید نیتروژن	متان	پتانسیل گرمایش جهانی	درصد
سوخت (لیتر)	۱۵۴/۸۶	۰/۰۳	۰/۲۳	۱۶۸/۹۹	۳/۶
کود نیتروژن (کیلوگرم)	۷۱۶/۱۰	۰/۰۰۷	۰/۸۸	۷۳۶/۷۵	۱۵/۶
کود فسفر (کیلوگرم)	۹/۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۹	۱۱/۵۳	۰/۲
کود پتاسیم (کیلوگرم)	۱۲۸/۸۰	۰/۰۰۱	۰/۰۹	۱۳۱	۲/۸
الکتریسیته (کیلووات ساعت)	۸۰/۵۹	۱۱/۶۱	۰/۰۳	۳۶۸۰/۳۲	۷۷/۸
مجموع	۱۰۸۹/۳۷	۱۱/۶۵	۱/۳۲	۴۷۲۸/۵۹	۱۰۰
پتانسیل گرمایش جهانی (معادل دی اکسید کربن)	۱۰۸۹/۳۷	۳۶۱۱/۵	۲۷/۷۲	۴۷۲۸/۵۹	۱۰۰

جدول ۱۰- پتانسیل گرم شدن کره زمین (GWP) (معادل کیلوگرم دی‌اکسیدکربن) برای سیستم های تولید کلزا

ورودی	دی اکسیدکربن	اکسید نیتروژن	متان	پتانسیل گرمایش جهانی	درصد پتانسیل گرمایش جهانی
سوخت (لیتر)	۳۸۰/۹۲	۰/۰۷	۰/۵۶	۴۱۴/۳۸	۹/۳
کود نیتروژن (کیلوگرم)	۷۰۶/۸۰	۰/۰۰۶	۰/۸۷	۷۲۶/۹۳	۱۶/۳
کود فسفر (کیلوگرم)	۱۰/۰۳	۰/۰۰۲	۰/۱۷	۱۴/۲۲	۰/۳
کود پتاسیم (کیلوگرم)	۸۹/۹۵	۰/۰۰۲	۰/۱۳	۹۳/۳	۲/۱
الکتریسیته (کیلووات ساعت)	۷۰/۲۸	۱۰/۱۲	۰/۰۲	۳۲۰۷/۹	۷۲
مجموع	۱۲۵۷/۹۸	۱۰/۲۰	۱/۷۵	۴۴۵۶/۷۳	۱۰۰
پتانسیل گرمایش جهانی (معادل دی اکسید کربن)	۱۲۵۷/۹۸	۳۱۶۲	۳۶/۷۵	۴۴۵۶/۷۳	۱۰۰

جدول ۱۱- پتانسیل گرمایش جهانی در هر هکتار، مزارع مورد مطالعه و کل اراضی خرمشهر

پتانسیل گرمایش جهانی	هکتار (kg CO <sub>2</sub> .ha <sup>-1</sup> )	مزارع مورد مطالعه (ton CO <sub>2</sub> )	کل سطح زیرکشت (ton CO <sub>2</sub> )
گندم	۴۷۲۸/۵۹	۱۲۶۴۴	۵۹۹۰۲
کلزا	۴۴۵۶/۷۳	۴۳۱۰	۶۸۱۹

## شاخص پایداری

در این مطالعه اجزای عملکرد به صورت دانه، اندام هوایی و ریشه در دو گیاه گندم و کلزا محاسبه شد. همچنین محتوای کربن در دانه، ساقه و ریشه در جدول ۱۲ نشان داده شده است. محتوای کربن دانه، ساقه و ریشه در هر هکتار زراعت گندم به ترتیب ۱۶۷۹، ۱۸۱۹ و ۹۵۷ و در زراعت کلزا به ترتیب ۱۲۸۲، ۴۳۲ و ۲۶۴۳ کیلوگرم محاسبه شد. کل تولید کربن در سیستم‌های زراعی گندم و کلزا به ترتیب ۵۷۴۵/۶۴ و ۳۸۵۸/۵۹ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین سهم تولید کربن مربوط به عملکرد دانه و اندام هوایی بود (۸۵٪). از طرف دیگر

کل کربن ورودی در دو زراعت گندم و کلزا به ترتیب ۱۲۸۹/۶۱ و ۱۲۱۵/۴۷ مربوط به کاربرد ورودی‌های شیمیایی و الکتریسیته به دست آمد. میانگین ترسیب کربن در دو سیستم فوق ۳۱۶۶/۴۲ و ۱۴۲۷/۶۵ کیلوگرم کربن در هکتار محاسبه شد. شاخص پایداری در کشت گندم ۲/۴۵ و در کشت کلزا ۱/۱۷ به دست آمد که نشان‌دهنده پایداری بیشتر بوم‌سامانه‌های گندم نسبت به کلزا در منطقه خرمشهر است. با توجه به برابری تقریبی کربن ورودی در دو گیاه از دلایل پایداری بیشتر کشت گندم نسبت به کلزا می‌توان به بالاتر بودن میزان کربن خروجی آن به دلیل عملکرد بالاتر آن نسبت به کلزا اشاره کرد.

جدول ۱۲- محتوای کربن و شاخص پایداری سیستم های تولید گندم و کلزا

شاخص	واحد	میزان
------	------	-------

کلزا	گندم		
۲۰۶۳/۶۸	۳۷۳۲/۱۲	کیلوگرم در هکتار	متوسط عملکرد دانه
۲۸۵۱/۴۲	۴۱۰۵/۳۳	کیلوگرم در هکتار	متوسط عملکرد ساقه
۸۳۴/۲۲	۱۳۳۲/۹۰	کیلوگرم در هکتار	متوسط عملکرد ریشه
۹۲۸/۶۵	۱۶۷۹/۴۵	کیلوگرم در هکتار	محتوای کربن دانه
۱۲۸۲/۴۳	۱۸۱۹/۴۰	کیلوگرم در هکتار	محتوای کربن ساقه
۴۳۲/۰۴	۹۵۷/۱۸	کیلوگرم در هکتار	محتوای کربن ریشه
۲۶۴۳/۱۲	۴۴۵۶/۰۳	کیلوگرم در هکتار	مجموع کربن خروجی
۱۲۱۵/۴۷	۱۲۸۹/۶۱	کیلوگرم در هکتار	مجموع کربن ورودی
۱/۱۷	۲/۴۵		شاخص پایداری

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان دهنده کارایی مصرف انرژی بهتر تولید دانه کلزا نسبت به گندم به دلیل بالاتر بودن معادل انرژی دانه کلزا بود. با توجه به اینکه انرژی خروجی مربوط به کاه بالای ۴۰ درصد می‌باشد، می‌توان با استفاده مناسب از بقایای این محصولات، بهره‌وری تولید را افزایش داد. بیشترین انرژی ورودی به ترتیب مربوط به الکتروسیته، کود نیتروژن و سوخت بود. انتشار گازهای گلخانه‌ای براساس مقادیر متغیرهای مختلف در هر هکتار به دلیل یکسان بودن میزان و نوع نهاده‌های استفاده شده در بوم‌سامانه‌های گندم و کلزا در منطقه تقریباً مشابه بود. با توجه به کشت ۱۴۱۹۸ هکتار گندم و کلزا در سال زراعی مورد مطالعه پتانسیل

گرمایش جهانی ۶۶۷۲۱ تن معادل دی‌اکسیدکربن محاسبه شد که با بهینه‌سازی ورودی‌های مزرعه می‌توان باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای گردید. شاخص پایداری به‌دست آمده براساس میزان کربن ورودی و خروجی در دو بوم‌سامانه گندم و کلزا نشان‌دهنده پایداری بیشتر زراعت گندم نسبت به کلزا می‌باشد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان که هزینه‌های این آزمایش را تأمین کرده‌اند (طرح پژوهشی شماره ۹۸۱/۲۱)، تشکر و قدردانی می‌گردد.

### منابع مورد استفاده

- Ahmadi K, Ebadzadeh HR, Hatami F, abdehshah H and Kazemian A. 2019. Agricultural Statistics 2017-2018 volume 2. Publication of Iran Ministry of Agriculture-Jahd. (In Persian)
- Akcaoz H, Ozcatalbas O, and Kizilay H. 2009. Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. Journal of Food Agriculture and Environment, 7:475-480.
- Asgharipoure MR and Salehi F. 2015. Energy use on Wheat production: a comparative analysis of irrigated and dry-land Wheat production systems in Kermanshah. Energy, 5(1): 1-11. (In Persian)
- Borin M, Merini C and Sartori L. 1997. Effects of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. Soil and Tillage Research, 40: 209-226.
- Dyer J and Desjardins R. 2003. Simulated farm fieldwork, energy consumption and related greenhouse gas emissions in Canada. Biosystems Engineering, 85(4): 503-513.
- Feyzbakhsh, MT and 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 with English Abstract).
- Ghasemi D, Dolatti L., Shekari F. 2020. Evaluation effect of seed priming with salicylic acid on yield and yield components of oilseed Rape (*Brassica napus* L.). Journal of Crop Production, 13(3): 61-70. (In Persian with English Abstract).

- Guillou CL, Angers DA, Leterme P and Menasseri Aubry, S. 2011. Differential and successive effects of residue quality and soil mineral N on water-stable aggregation during crop residue decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 43: 1955-1960.
- Habibzadeh M and Gholami Parshokoochi M. 2017. Study of energy consumption in traditional and mechanized methods for Hashemi and Gohar varieties Rice production (Case study: Sowme'eh Sara county). *Journal of Biosystems Engineering*, 5(1): 27-45
- Kahl F, Li Y, Su Y, Tennigkeit T and Wilkes, A. 2010. Greenhouse gas emissions from nitrogen fertilizer use in China. *Environmental Science and Policy*, 13: 688-694.
- Kaltsas AM, Mamolos AP and Tsatsarelis CA. 2007. Energy budget in organic and conventional Olive groves. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122: 243-251.
- Kazemi H and Zare S. 2014. Investigation and comparison of energy flow in wheat fields of Gorgan and Marvdasht townships. *Cereal Research*, 4(3): 211-227
- Khosravi R and Imani O. 2011. Energy calculation of irrigated wheat production in sample fields Isfahan province. *Proceeding of 3<sup>th</sup> Conference of Thermal Transfers in Oil and Energy Industries*. Tehran, Iran. (In Persian with English Abstract).
- Kramer KJ, Moll HC and Nonhebel S. 1999. Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 72: 9-16.
- Lal R. 2004. Soil carbon equestrian impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677): 1623-1627.
- Liu B, Wang F, Zhang B and Bi J. 2013. Energy balance and GHG emissions of Cassava-based fuel ethanol using different planting modes in China. *Energy Policy*, 56(1): 210-220.
- Mohammadzadeh A, Damghani, AM, Vafabakhsh J and Deihimfard R. 2017. Assessing energy efficiencies, economy, and global warming potential (GWP) effects of major crop production systems in Iran: a case study in East Azerbaijan province. *Environmental Science and Pollution Research*, 24: 16971-16984.
- Moreno MM, Lacasta C, Meco R and Moreno C. 2011. Rainfed crop energy balance of different farming systems and crop rotations in a semi-arid environment: Results of along-term trial. *Soil and Tillage Research*, 114:18-27.
- Omidmehr Z. 2016. Evaluating energy flow and greenhouse gas emissions in rainfed wheat production. *Cereal Research*, 6(3): 353-366. (In Persian with English Abstract)
- Ozkan B, Akcaoz Hand Fert C. 2004. Energy input output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, 29(1): 39- 51.
- Pishgar Komleh, SH, Omid M and Heidari MD. 2013. On the study of energy use and GHG (greenhouse gas) emissions in greenhouse Cucumber production in Yazd province. *Energy*, 59(1):63-71.
- Platis DP, Anagnostopoulos CD, Tsaoulas AD, Menexes GC, Kalburtji KL and Mamolos AP. 2019. Energy analysis, and carbon and water footprint for environmentally friendly farming practices in agroecosystems and agroforestry. *Sustainability*, 11: 1664.
- Rajaby MH, Soltani A, Vahidnia B, Zeinali E and Soltani E. 2012a. Evaluation of fuel consumption in wheat fields in Gorgan. *Environmental Sciences*, 9: 142-164. (In Persian)
- Rajabi MH, Soltani A, Zeinali E and Soltani E. 2012b. Evaluation of greenhouse gas emission and global warming potential in Wheat production in Gorgan, Iran. *Journal of Crop Production*, 5(3): 23-44. (In Persian)
- Samavatean N, Rafiee S, Mobli H and Mohammadi A. 2011. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield, costs and income of Garlic production in Iran. *Renewable Energy*, 36(6): 1808-1813.

- Singh H, Singh AK, Kushwaha HL and Singh A. 2007. Energy consumption pattern of Wheat production in India. *Energy* 32: 1848-1854
- Snyder CS, Bruulsema T W, Jensen TL and Fixen P E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 133: 247-266.
- Tipi T, Cetin B and Vardar A. 2009. An analysis of energy use and input costs for Wheat production in Turkey. *Journal of Agriculture and Environment*, 7: 352-356.
- Tzilivakis J, Warner DJ, May M, Lewis KA and 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: 101-119.
- Wood, S., and Cowie, A. 2004. A review of greenhouse gas emission factors for fertilizer production. Research and Development Division, State Forests of New South Wales. Cooperative Research Center for greenhouse Accounting.
- Yousefi M, Mahdavi Damghani AM and Khoramivafa M. 2014. Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustainability index in Corn agroecosystems of Iran. *Science of the Total Environment*, 493: 330-335.