مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره ده، دی ماه ۱۴۰۱ (۱۷-۱)

بررسی جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید برخی محصولات زراعی استان خراسان جنوبی

حامد جوادی[1*]

h_javadi@pnu.ac.ir

سید محمد جعفر اصفهانی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۱**

چکیده

زمینه و هدف: در سال‌های اخیر مصرف بی‌رویه نهاده‌های کشاورزی موجب افزایش انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است. لذا هدف این مطالعه بررسی جریان و انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید برخی محصولات زراعی خراسان جنوبی است.

روش بررسی: در این پژوهش، جهت جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز شامل عملیات زراعی، نوع و میزان نهاده‌های مصرفی و عملکرد محصول از داده‌های سازمان جهاد کشاورزی خراسان جنوبی، پرسشنامه و مصاحبه حضوری با کشاورزان منطقه در سال ۱۳۹۸ استفاده شد. همچنین شاخص‌های انرژی ورودی، انرژی خروجی، انرژی خالص، انرژی مخصوص، کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، اشکال مختلف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی محاسبه و ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در بین محصولات زراعی مورد مطالعه، بیشترین انرژی در فرآیند تولید یونجه (۲۱۳۱۰۱ مگا ژول در هکتار) استفاده شده است. همچنین بیشترین انرژی خروجی به‌ترتیب متعلق به محصولات چغندرقند (۵۷۱۲۰۰ مگاژول در هکتار)، سورگوم علوفه‌ای (۳۹۱۹۲۰ مگاژول در هکتار) و یونجه (۱۲۰۸۷۰ مگاژول در هکتار) بود. بیشترین کارایی مصرف انرژی مربوط به محصولات چغندرقند (۳/۷۷) و سورگوم علوفه‌ای (۲/۷۲) بود. بوم نظام‌های یونجه (۴۱۵۶۶ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار)، چغندرقند (۲۹۱۷۹ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) و سورگوم علوفه‌ای (۲۷۳۹۶ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) به ترتیب بیشترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی را داشتند. مقایسه سهم ورودی‌های مختلف از کل پتانسیل گرمایش جهانی محصولات نشان داد که در تمام محصولات مورد مطالعه، نیروی الکتریسیته، کود نیتروژن و گازوئیل بیشترین نقش را در انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کنند.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به این‌که نیروی الکتریسیته و کود نیتروژن بیشترین سهم در انتشار گازهای گلخانه‌ای محصولات زراعی خراسان جنوبی را داشتند، لذا مدیریت و بهینه‌سازی آبیاری و استفاده از عملیات زراعی مناسب از جمله کشت کود سبز یا قرار دادن لگوم برای افزایش حاصلخیزی خاک به‌عنوان جایگزین کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن می‌تواند به‌عنوان راهکاری جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در منطقه خراسان جنوبی باشد.

واژه‌های کلیدی: انرژی مستقیم، انرژی غیرمستقیم، پایداری نظام‌های زراعی، پتانسیل گرمایش جهانی.

۱- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور. *(مسوول مکاتبات)

۲ - استادیارموسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No.10, January, 2023

Energy Flow and Greenhouse Gases Emission of Crop Production Systems in South Khorasan Province

Hamed Javadi [1 *]
h_javadi@pnu.ac.ir
Seyyed Mohammad Jafar Esfahani[2]

Admission Date: November 20, 2022 Date Received: March 7, 2022

Abstract

Background and Objective: In recent years, excessive use of agricultural inputs has increased energy consumption and greenhouse emissions. This study aims to investigate the energy flow and greenhouse gases emissions in the production systems of some crops in South Khorasan province.

Material and Methodology: In the current research, a questionnaire, as well as face-to-face interviews with the farmers in this region (2018), were used to collect the required information, including agricultural operations, the type and amount of consumed inputs and product performance. In the present research, input energy, output energy, net energy, specific energy, optimal energy consumption, energy efficiency indices, different forms of energy, and Global warming potential were calculated and evaluated.

Findings: The results showed that the process of alfalfa production had the highest energy consumption. On the other hand, Sugar beet (571,200 $MJ.ha^{-1}$), fodder sorghum (391,920 $MJ.ha^{-1}$) and alfalfa (120,870 $MJ.ha^{-1}$) have the highest energy output, respectively. A comparison of the studied products showed that rapeseed (27.6 $MJ.kg^{-1}$) and cotton (15.3 $MJ.kg^{-1}$) have the maximum specific energy index. The ecosystems of alfalfa (41566 kg $CO^2eq.ha^{-1}$), sugar beet (29179 kg $CO^2eq.ha^{-1}$), fodder sorghum (27396 kg $CO^2eq.ha^{-1}$) had the maximum of global warming potential (GWP), respectively. Comparing the share of different inputs from the total global warming potential of the products showed that electricity, nitrogen fertilizer, and diesel play the greatest role in greenhouse gas emissions in all the studied products.

Discussion and Conclusions: Since electricity and nitrogen fertilizer had the greatest role in the greenhouse gases emission from crops in South Khorasan province, management and optimization of irrigation performance and appropriate agricultural activities such as green manure crops or legumes cultivation to increase soil fertility, can be a solution to reduce greenhouse gas emissions in the South Khorasan region.

Keywords: Direct energy, indirect energy, sustainability of farming systems, global warming potential.

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Iran. *(*Corresponding Author*)
2- Assistant Professor of Agricultural Planning, Economic and Rural Development Research Institute (APERDRI), Iran.

مقدمه

به دلیل رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای غذا و تولیدات کشاورزی، مصرف انرژی در این بخش به شدت افزایش یافته است. کمیابی منابع انرژی، افزایش قیمت جهانی و حامل‌های انرژی، نگرانی‌های جهانی و توجه به مقوله توسعه پایدار موجب شده محققان به دنبال راهکارهایی برای مصرف بهینه انرژی در بخش کشاورزی باشند (۱).

هر چند مصرف انرژی در بوم نظام‌های زراعی منجر به افزایش بهره‌وری تولید و رشد اقتصادی شده اما در نظام‌های کشاورزی فشرده که به شدت به کودهای شیمیایی، سموم و نهاده‌هایی از قبیل سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته و ماشین‌آلات وابسته هستند تولید گازهای گلخانه‌ای افزایش یافته است (۲). نتایج برخی تحقیق‌ها حاکی از آن است که در مقیاس جهانی، حدود پنج در صد از کل انرژی در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و حدود ۱۱ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز متعلق به این بخش می‌باشد (۳). یکی از راهکارهای مناسب جهت افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش اثر ردپای محیط‌زیستی انرژی های ورودی، ارزیابی جریان انرژی در نظام های تولید محصولات کشاورزی است (۴).

در تحقیقی که به‌منظور مطالعه جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید محصولات زراعی دشت شریف‌آباد استان قم انجام شد، بیشترین کارایی مصرف انرژی مربوط به محصولات جو، ذرت علوفه‌ای و گندم و کمترین آن مربوط به پنبه بود. بیشترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی از کشت یونجه و کمترین آن از محصولات جو، کلزا و گندم حاصل شد (۵). در تحقیقی دیگر، برای تولید سورگوم علوفه‌ای در منطقه سیستان به انرژی ورودی ۳۷۶۹۵ مگاژول در هکتار نیاز بود که در بین نهاده های ورودی به‌ترتیب الکتریسیته، کود های شیمیایی و گازوئیل بیشترین سهم را داشتند. همچنین کارایی مصرف انرژی در مزارع سورگوم علوفه‌ای ۷/۳ برآورد شد. در این تحقیق، الکتریسیته با ۲۹۸۱/۲۷ کیلوگرم در هکتار گاز گلخانه‌ای معادل دی‌اکسید کربن، بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را از مجموع ۳۷۴۶/۷ کیلوگرم در هکتار گاز گلخانه‌ای معادل دی‌اکسید کربن به خود اختصاص داد و پس از آن کود دامی و گازوئیل بیشترین میزان آلودگی را ایجاد کردند (۶). در تحقیقی مشخص شد که در کشت آبی عدس ۹۳۰/۴۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار به اتمسفر آزاد می‌شود که بیشترین میزان به الکتریسیته و سوخت دیزل اختصاص داشت (۷). ارزیابی شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم استان گلستان نشان داد که برای کشت یک هکتار گندم به ۱۶۲۳۱ مگاژول انرژی نیاز بوده که از هر هکتار گندم ۱۴۱۴ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار به اتمسفر آزاد می شود. در این پژوهش مصرف کودهای نیتروژنی و سوخت‌های فسیلی ۷۰ درصد از مصرف انرژی کل و ۷۸ در صد از انتشار گازهای گلخانه‌ای کل را به خود اختصاص دادند (۸). در تحقیقی دیگر، برای تولید گندم در استان اردبیل به انرژی ورودی ۳۸۷۵۵/۳۴ مگاژول در هکتار نیاز بود که در بین نهاده‌های ورودی کود نیتروژن با ۳۷/۳۸ درصد و سوخت دیزل با ۱۹ درصد بیشترین سهم را داشتند. سهم انرژی مصرفی مستقیم و غیرمستقیم به ترتیب ۳۹/۸۸ و ۶۰/۱۲ و انرژی‌های تجدید پذیر و غیر تجدید پذیر به ترتیب ۳۱ و ۶۸/۹۹ درصد از کل انرژی ورودی بود. بر اساس نتایج این پژوهش و به‌منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی نظام تولید گندم در استان اردبیل پیشنهاد شد که از روش‌های مدیریت زراعی همچون کاربرد نهاده‌های آلی، تناوب زراعی، کم‌خاکورزی و بی‌خاکورزی استفاده شود (۹).

نتایج تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که الگوی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بوم نظام‌های کشاورزی تحت تأثیر نوع نظام زراعی، الگوی کشت، سطح فناوری، جمعیت شاغل در کشاورزی، دانش کشاورزان، نوع و مقدار مصرف کودهای شیمیایی و میزان عملکرد محصول قرار می‌گیرد (۱۰). همچنین بررسی این مطالعات نشان می‌دهد که شاخص‌های انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند تولید محصولات کشاورزی در مناطق مختلف بسیار متفاوت است. با توجه به این‌که در اغلب مطالعات انجام شده در خصوص

سیر انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تنها یک محصول مورد بررسی گرفته و بررسی‌های انجام شده بیانگر خلأ تحقیقاتی در استان خراسان جنوبی است، لذا این مطالعه با هدف ارزیابی جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید برخی محصولات زراعی استان خراسان جنوبی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۸ و در استان خراسان جنوبی انجام شد. محل آزمایش از نظر اقلیمی و بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق خشک محسوب می شود. سطح زیر کشت محصولات زراعی این استان ۷۳۳۴۳/۳ هکتار است که محصولات گندم، جو و پنبه به‌ترتیب با سطح زیر کشت ۱۹۶۰۵، ۱۸۱۷۰ و ۷۱۷۰ هکتار بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده‌اند (۱۱). در این پژوهش، جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در برخی محصولات زراعی استان خراسان جنوبی شامل گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.)، سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor L.*)، یونجه (*Medicago sativa* L.)، چغندرقند (*Beta vulgaris L.*)، کلزا (*Brassica napus* L.)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، نخود (*Cicer arietinum L.*)، عدس (*Lens culinaris L.*)، پیاز (*Allium cepa L.*) مورد ارزیابی قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز تحقیق شامل عملیات زراعی (نوع و دفعات عملیات در آماده‌سازی زمین، آبیاری، مبارزه با آفات و برداشت)، نوع و میزان نهاده‌های مصرفی (شامل کودهای شیمیایی و آلی، سموم شیمیایی، بذر و سوخت مصرفی) و میزان عملکرد محصولات زراعی با استفاده از داده‌های مربوط به سازمان جهاد کشاورزی خراسان جنوبی، پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۱۶۲ کشاورز منطقه مورد مطالعه به دست آمد. داده‌های مربوط به عملکرد و مصرف نهاده‌ها در محصولات چندساله (مانند یونجه) به‌صورت میانگین سالانه بیان شد. تعداد پرسشنامه‌ها به روش نمونه‌گیری تصادفی ساده بر اساس رابطه ۱ که توسط کوکران پیشنهاد شده محاسبه گردید (۵).

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

در رابطه فوق، N: اندازه جامعه آماری یا تعداد کشاورزان، t: ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t استیودنت به دست می‌آید، s^2: برآورد واریانس متغیر مورد مطالعه در جامعه، d: دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n: حجم نمونه می‌باشد.

برای محاسبه شاخص‌های انرژی در محصولات مورد مطالعه، انرژی نهاده‌های مصرفی شامل نیروی انسانی، کود، ماشین‌آلات، بذر، آفت‌کش‌ها، آب و غیره که طی عملیات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند و همچنین عملکرد محصول مطابق معادل‌های انرژی آن‌ها که در جدول ۱ آمده محاسبه شد. به‌منظور امکان مقایسه شاخص های مورد بررسی، تمامی ورودی ها و خروجی‌های سیستم تولید محصولات چندساله به‌صورت میانگین سالانه بیان شد. شاخص‌های انرژی بر اساس روابط ۲، ۳، ۴ و ۵ محاسبه شدند (۱۲):

$$Ee = \frac{\mathrm{EO}}{\mathrm{EI}} \quad (۲)$$

$$Ep = \frac{\mathrm{Y}}{\mathrm{EI}} \quad (۳)$$

$$Ne = EO - EI \quad (۴)$$

$$Se = \frac{\mathrm{EI}}{\mathrm{Y}} \quad (۵)$$

در این روابط، Ee = کارایی مصرف انرژی، EO= انرژی خروجی (مگا ژول در هکتار)، EI= انرژی ورودی (مگا ژول در هکتار)، Y= عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)، Ne= انرژی خالص و Se= انرژی ویژه می‌باشد.

انرژی‌های ورودی در نظام‌های زراعی را می‌توان به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم یا تجدید پذیر و تجدید ناپذیر تقسیم‌بندی کرد. بر این اساس، انرژی مستقیم شامل نیروی انسانی، سوخت دیزلی، آب آبیاری و الکتریسیته و انرژی غیرمستقیم شامل بذر، کودهای شیمیایی، کود حیوانی، آفت‌کش ها و ماشین‌آلات می باشد (۱۳). همچنین نیروی انسانی، بذر، آب آبیاری و کود دامی به‌عنوان انرژی تجدید پذیر و الکتریسیته، کودهای شیمیایی، سوخت دیزلی، آفت‌کش‌ها و

ماشـــین‌آلات جزو انرژی تجدید ناپذیر در نظر گرفته می‌شـــود (۱۳).

جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی در نظام‌های تولید محصولات مورد مطالعه

Table 1.Energy equivalents of input and output in studied crop production systems

ورودی	واحد		CH_4	N_2O	CO_2	منبع
گازوئیل	لیتر	l	۵/۲۰	۰/۷۰	۳۵۶۰	Kramer et al. (1999)
نیتروژن	کیلوگرم	kg	۳/۷۰	۰/۰۳	۳۱۰۰	Snyder et al. (2009)
فسفر (P_2O_5)	کیلوگرم	kg	۱/۸۰	۰/۰۲	۱۰۰۰	Snyder et al. (2009)
پتاسیم (K_2O)	کیلوگرم	kg	۱/۰۰	۰/۰۱	۷۰۰	Snyder et al. (2009)
الکتریسیته	کیلو وات ساعت	kwh	۰/۰۲	۸/۸۲	۶۱/۲۰	Tzilivakis et al. (2005)
حشره‌کش	لیتر	l	*	*	۵۱۰۰	Lal (2004)
علف‌کش	لیتر	l	*	*	۶۳۰۰	Lal (2004)
قارچ‌کش	لیتر	l	*	*	۳۹۰۰	Lal (2004)
ضریب معادل CO_2			۲۱	۳۱۰	۱	IPCC (1995)

میزان انتشـار گازهای گلخانه‌ای بر اسـاس نهاده‌های شـیمیایی مطابق ضرایب انتشار CO_2، N_2O و CH_4 در هر یک از نهاده‌ها که در جدول ۲ نشان داده شده محاسبه شدند. سپس پتانسیل گرمایش جهانی در یک هکتار بر ا ساس میزان انت شار هر یک از گازهای گلخانه‌ای و ضـریب اثر آن‌ها برای یک دوره ۱۰۰ سـاله که برای CO_2، N_2O و CH_4 به ترتیب برابر ۱، ۳۱۰ و ۲۱ بود محا سبه شد (۱۴). درنهایت، پتان سیل گرمایش جهانی گازهای گلخانه‌ای انتشـار یافته برای یک هکتار محصـولات مورد مطالعه بر اسـاس معادل CO_2 بیان شـد. برای محاسـبه شـاخص‌های انرژی و رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های انرژی

مقای سه مح صولات زراعی مختلف از لحاظ اجزای انرژی ورودی نشـان داد که محصـولات پیاز (۷۴۴ سـاعت در هکتار معادل ۱۴۵۸ مگاژول در هکتار) ، چغندرقند (۵۱۸ سـاعت در هکتار معادل ۱۰۱۵ مگاژول در هکتار) و نخود (۳۶۹ سـاعت در هکتار معادل ۷۲۳ مگاژول در هکتار) نسـبت به بقیه محصـولات به نیروی انسانی بیشتری نیاز دارند و کمترین نیروی انسانی مربوط به تولید جو (۹۲ ساعت در هکتار معادل ۱۸۰ مگاژول در هکتار) و گندم (۹۲ ساعت در هکتار معادل ۱۸۰ مگاژول در هکتار) بود (جدول ۳). اسـتفاده از کارگر و دسـتی بودن عملیات کاشـت، داشـت و برداشـت در محصـولاتی مانند پیاز و نخود و همچنین برداشت نیمه مکانیزه در خصوص چغندرقند سبب افزایش سهم نیروی انسانی در انرژی ورودی این محصولات شده است، اما در محصـولاتی مانند گندم و جو که بخش زیادی از عملیات زراعی توسط ماشین‌آلات انجام می‌شود نیاز به استفاده از نیروی انسانی کمتر می‌باشد.

جدول ۲- انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای مصرف هر واحد نهاده ورودی

Table 2. Gaseous emissions (g) per unit of input

الف) ورودی	واحد	انرژی معادل ($MJ.\ Unit^{-1}$)	منبع
نیروی انسانی	hr	۱/۹۶	Zangeneh et al. (2010)
ماشین‌آلات	hr	۶۲/۷	Zangeneh et al. (2010)
گازوئیل	l	۴۷/۸	Zangeneh et al. (2010)
نیتروژن	kg	۶۶/۱۴	Yilmaz et al. (2005)
فسفر	kg	۱۱/۱۵	Mohammadi & Omid (2010)
پتاسیم	kg	۱۲/۴۴	Zangeneh et al. (2010)
حشره‌کش‌ها	l	۵۸	Mohammadi et al. (2014)
علف‌کش‌ها	l	۲۹۵	Mohammadi et al. (2014)
قارچ‌کش‌ها	l	۱۱۵	Mohammadi et al. (2014)
الکتریسیته	kwh	۱۱/۹۳	Ozkan et al. (2004)
آب آبیاری	m3	۰/۶۳	Yilmaz et al. (2005)
بذر گندم	kg	۱۷/۷	Vafabakhsh & Mohammadzadeh (2019)
بذر جو	kg	۱۴/۷	Vafabakhsh & Mohammadzadeh (2019)
بذر ذرت	kg	۱۰۴	Pishgar Komleh et al. (2011)
بذر سورگوم	kg	۲۸/۴۸	Fartout Enayat et al. (2017)
بذر یونجه	kg	۲۸/۱	Ghaderpour et al.,2017
بذر چغندرقند	kg	۵۰	Gholami ghajelou et al. (2015)
بذر کلزا	kg	۳/۶	Vafabakhsh & Mohammadzadeh (2019)
بذر پنبه	kg	۱۸	Vafabakhsh & Mohammadzadeh (2019)
بذر نخود	kg	۱۴/۷	Ghaderpour et al. (2020)
بذر عدس	kg	۲۵	Mehrabi Boshr Abadi (2011)
بذر پیاز	kg	۱/۶	Molaee (2017)
ب) خروجی			
گندم	kg	۱۴/۷	Vafabakhsh & Mohammadzadeh (2019)
جو	kg	۱۴/۷	Vafabakhsh & Mohammadzadeh (2019)
ذرت	kg	۸	Pishgar Komleh et al. (2011)
سورگوم	kg	۱۶/۳۳	Fartout Enayat et al. (2017)
یونجه	kg	۱۵/۸	Ghaderpour et al. (2017)
چغندرقند	kg	۱۶/۸	Gholami ghajelou et al. (2015)

کلزا	kg	۲۷/۶	Vafabakhsh & Mohammadzadeh (2019)
پنبه	kg	۱۸	Vafabakhsh & Mohammadzadeh (2019)
نخود	kg	۱۴/۷	Ghaderpour et al. (2020)
عدس	kg	۱۴/۷	Mehrabi Boshr Abadi (2011)
پیاز	kg	۱/۶	Molaee (2017)

نتایج نشـــان داد که بیشـــترین و کمترین تعداد ســـاعات کار ماشـــین‌آلات به‌ترتیب مربوط به محصـولات پیاز (۳۰ سـاعت در هکتار معادل ۱۸۸۱ مگاژول در هکتار) و عدس (۱۴ ســـاعت در هکتار معادل ۹۲۴ مگاژول در هکتار) بود (جدول ۳). در محصول پیاز به دلیل ریز بودن بذر نیاز به بستر مناسب و نرم است، لذا در مرحله آماده‌ســـازی زمین برای این محصـــول تعداد ســـاعت بیشتری برای کار ماشین‌آلات دیده شده است و از طرفی دلیل کاهش تعداد ساعت کار ماشین‌آلات در خصوص عدس، برداشت دستی این محصول می‌باشد. در بین محصولات غلات و علوفه‌ای نیز کمترین تعداد ســـاعات کار با ماشـــین‌آلات متعلق به جو و گندم (به‌ترتیب ۲۰ ســـاعت در هکتار معادل ۱۲۵۴ مگاژول در هکتار و ۲۰/۵ ساعت در هکتار معادل ۱۲۸۵ مگاژول در هکتار) بود (جدول ۳). نتایج مطالعات برخی محققان نیز بیانگر کمتر بودن ســـاعات کار ماشـــین‌آلات در جو و گندم نســـبت به ســـایر محصولات زراعی می‌باشد (۵ و ۱۰). نتایج مطالعات انجام شده در ایران حاکی از آن است که سهم انرژی ورودی ماشین‌آلات از کل انرژی‌های ورودی به مزارع در تولید محصولاتی از جمله جو (۲۷) و گندم (۲۸) معمولاً کمتر از ۵ درصد است.

در بین محصولات، بیشترین و کمترین مصرف گازوئیل به‌ترتیب در تولید محصولات یونجه (۳۰۲ لیتر معادل ۱۴۴۴۵ مگاژول در هکتار) و عدس (۱۴۱ لیتر معادل ۶۷۵۸ مگاژول در هکتار) حاصل شد (جدول ۳). سوخت‌های فسیلی به‌خصوص سوخت گازوئیل مهم‌ترین منبع تأمین انرژی مورد نیاز ماشـــین‌آلات کشاورزی و بخشی از موتور پمپ‌های آب برای پمپاژ آب آبیاری از چاه‌ها می‌باشـند. لذا، حجم گازوئیل مصـرفی در فرآیند تولید محصـولات کشـاورزی به‌طور مسـتقیم تحت تأثیر سـاعات کار ماشـین‌آلات، نوع ماشـین‌آلات مورد اسـتفاده و نیز در صـورت دیزلی بودن موتور پمپ های آب به میزان آبیاری محصـــول بســـتگی دارد (۵). علت مصـــرف بالای گازوئیل در تولید یونجه میزان آب آبیاری مصرفی بیشتر در این محصول و علت مصرف کمتر گازوئیل در تولید عدس تعداد ســـاعات کار کمتر ماشـــین‌آلات و میزان آب آبیاری مصـــرفی کمتر این محصـــول نسـبت به سـایر محصـولات اسـت. نتایج مطالعه‌ای در دشـت شریف‌آباد استان قم نیز حاکی از آن بود که بیشترین مصرف گازوئیل مربوط به تولید یونجه می‌باشد. در این تحقیق، عملیات زراعی بیشـــتر در این محصـــول و افزایش تعداد ســـاعات کار ماشین‌آلات نسبت به سایر محصولات از دلایل افزایش مصرف گازوئیل ذکر شد (۵). در تحقیقی، با ارزیابی مصرف سوخت در مزارع تولید گندم در گرگان گزارش کردند که بیشترین مصرف گازوئیل در تولید محصول در مرحله آماده سازی بستر کاشت و آبیاری محصول صورت می‌گیرد (۴).

جدول ۳- مقادیر ورودی و خروجی در نظام‌های تولید محصولات مورد مطالعه به ازای یک هکتار

Table 3. Inputs and outputs in studied crop production systems per hectare

الف) ورودی	واحد	مقدار در واحد سطح										
		گندم	جو	ذرت	سورگوم	یونجه	چغندرقند	کلزا	پنبه	نخود	عدس	پیاز
نیروی انسانی	hr	۹۲/۵	۹۲	۱۳۴	۱۵۵	۲۲۱	۵۱۸	۱۰۲	۳۰۵	۳۶۹/۷۵	۲۰۷/۲	۷۴۴
ماشین‌آلات	hr	۲۰/۵	۲۰	۲۴	۲۵	۲۱	۱۸	۲۲	۲۵	۱۷/۷۵	۱۴/۷۵	۳۰
گازوئیل	l	۲۷۲/۲	۲۳۲/۶	۲۶۱	۲۵۰	۳۰۲/۲	۲۷۳/۳	۲۵۱/۸	۲۳۳/۴	۱۷۰/۲	۱۴۱/۴	۲۸۷/۸
بذر	kg	۲۲۰	۲۰۰	۳۵	۳۰	۶۰	۴	۶	۸۰	۸۰	۴۰	۴
نیتروژن	kg	۲۵۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۵۰	۱۵۰	۱۵۰
فسفر (P_2O_5)	kg	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۵۰
پتاسیم (K_2O)	kg	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۵۰
علف‌کش‌ها	l	۲	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۳	۱	۲	۰	۰	۰
حشره‌کش‌ها	l	۲	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۱/۵	۲	۰
قارچ‌کش‌ها	l	۰/۴	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
الکتریسیته	kwh	۵۱۸۴	۵۱۸۴	۷۹۲۰	۹۳۶۰	۱۴۴۰۰	۱۰۰۸۰	۵۷۶۰	۸۶۴۰	۴۸۳۰	۴۹۰۰	۶۴۸۰
آب آبیاری	m^3	۷۲۰۰	۷۲۰۰	۱۱۰۰۰	۱۳۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۴۰۰۰	۸۰۰۰	۱۲۰۰۰	۶۹۰۰	۷۰۰۰	۹۰۰۰
ب) خروجی												
گندم	kg	۳۴۱۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
جو	kg	-	۳۱۹۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ذرت	kg	-	-	۴۵۰۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-
سورگوم	kg	-	-	-	۷۵۰۰۰	-	-	-	-	-	-	-
یونجه	kg	-	-	-	-	۹۰۰۰	-	-	-	-	-	-
چغندرقند	kg	-	-	-	-	-	۴۰۰۰۰	-	-	-	-	-
کلزا	kg	-	-	-	-	-	-	۱۵۰۰	-	-	-	-
پنبه	kg	-	-	-	-	-	-	-	۲۳۰۰	-	-	-
نخود	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۰۰۰	-	-
عدس	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۱۰۰	-
پیاز	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۵۰۰۰

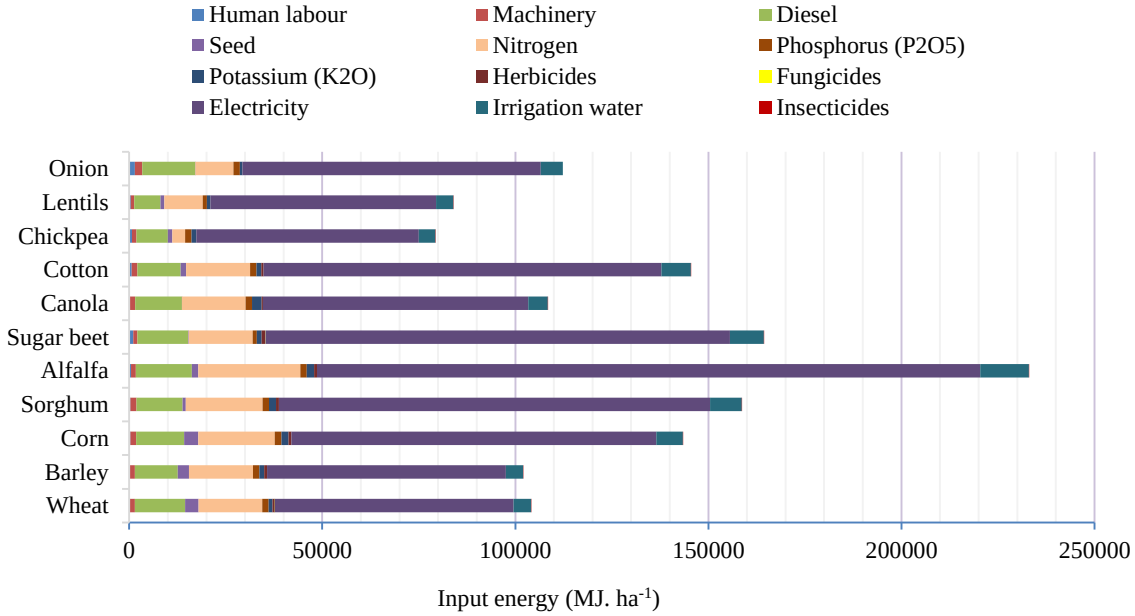
مقایسه بین محصولات زراعی نشان داد که بیشترین انرژی مصرفی از لحاظ بذر مربوط به بذور محصولات ذرت (۳۶۴۰ مگاژول در هکتار) و گندم (۳۴۵۸ مگاژول در هکتار) و کمترین آن متعلق به پیاز (۶/۴ مگاژول در هکتار) بود (شکل ۱). نتایج تحقیق وفابخش و محمدزاده (۵) نیز حاکی از این بود که بین محصولات زراعی مورد مطالعه بیشترین مصرف انرژی بذر مربوط به گندم بود.

مقایسه محصولات زراعی مختلف حاکی از آن بود که بیشترین مصرف کودهای شیمیایی در محصولات علوفه‌ای مانند یونجه (۷۰۰ کیلوگرم در هکتار NPK معادل ۲۹۹۹۴ مگاژول در هکتار)، ذرت علوفه‌ای و سورگوم علوفه‌ای (۶۰۰ کیلوگرم در هکتار NPK معادل ۲۳۳۸۰ مگاژول در هکتار) و محصول کلزا (۶۰۰ کیلوگرم در هکتار NPK معادل ۲۰۶۹۵ مگاژول در هکتار) حاصل شد. کمترین مصرف کودهای شیمیایی در گروه حبوبات از جمله نخود (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار NPK معادل ۶۲۲۳ مگاژول در هکتار) و عدس (۳۲۵ کیلوگرم در هکتار NPK معادل ۱۱۹۶۹ مگاژول در هکتار) به دست آمد (جدول ۳ و شکل ۱). در بین کودهای شیمیایی مورد استفاده سهم کود نیتروژن از سایر کودها بیشتر بود (جدول ۳). نتایج برخی مطالعات نیز حاکی از آن است که در تولید محصولات زراعی، سهم کودهای نیتروژنی از انرژی ورودی بیش از کودهای فسفر، پتاسیم و گوگرد است (۵، ۲۷ و ۲۹).

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که در بین محصولات مورد مطالعه، بیشترین انرژی ناشی از مصرف الکتریسیته مربوط به تولید یونجه (۱۴۴۰۰ کیلووات ساعت در هکتار معادل ۱۷۱۷۹۲ مگاژول در هکتار) و کمترین آن متعلق به نخود (۴۸۳۰ کیلووات ساعت در هکتار معادل ۵۷۶۲۱ مگاژول در هکتار) و عدس (۴۹۰۰ کیلووات ساعت در هکتار معادل ۵۸۴۵۷ مگاژول در هکتار) بودند (جدول ۳ و شکل ۱). نتایج تحقیق وفابخش و محمدزاده (۵) نیز حاکی از آن بود که بین محصولات زراعی مورد مطالعه بیشترین مصرف الکتریسیته مربوط به یونجه بود.

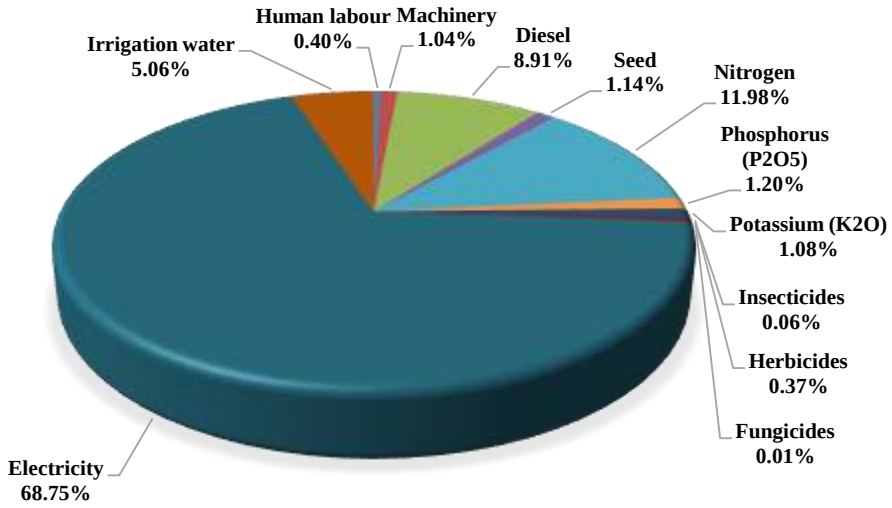
در بین محصولات مورد مطالعه بیشترین مصرف آب در تولید یونجه (۲۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار معادل ۱۲۶۰۰ مگاژول در هکتار) و کمترین آن در تولید عدس (۷۰۰۰ مترمکعب در هکتار معادل ۴۴۱۰ مگاژول در هکتار) و گندم و جو (۷۲۰۰ مترمکعب در هکتار معادل ۴۵۳۶ مگاژول در هکتار) حاصل شد (جدول ۳ و شکل ۱). در مطالعه وفابخش و محمدزاده (۵) نیز بیشترین مصرف آب در تولید یونجه (۲۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار معادل ۲۱۴۲۰ مگاژول در هکتار) و کمترین آن در تولید جو (۵۲۷۱ مترمکعب در هکتار معادل ۵۳۷۷ مگاژول در هکتار) و گندم (۵۴۰۰ مترمکعب در هکتار معادل ۵۵۰۸ مگاژول در هکتار) حاصل شد.

شاخص‌های انرژی در نظام تولید محصولات زراعی مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین مصرف انرژی ورودی در بین محصولات زراعی مورد مطالعه متعلق به یونجه (۲۱۳۱۰۱ مگاژول در هکتار) و کمترین آن متعلق به نخود (۷۶۷۳۹ مگاژول در هکتار) و عدس (۷۸۰۸۲ مگاژول در هکتار) بودند (جدول ۴). افزایش سهم ورودی‌هایی مانند گازوئیل، کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن، آب و الکتریسیته در تولید یونجه باعث شد این محصول در مقایسه با سایر محصولات زراعی بیشترین انرژی ورودی را به خود اختصاص دهد (جدول ۳ و شکل ۱).



شکل ۱- سهم ورودی‌های مختلف انرژی در نظام‌های تولید محصولات زراعی استان خراسان جنوبی

Figure 1. The proportion of different inputs of energy for crop production systems in South Khorasan province



شکل ۲- سهم ورودی‌های مختلف انرژی از کل انرژی ورودی در نظام‌های تولید محصولات زراعی استان خراسان جنوبی

Figure 2. The proportion of different inputs of total input energy for crop production systems in South Khorasan province

همچنین نتایج نشان داد که بیشترین سهم از ورودی‌های مختلف انرژی در تولید محصولات زراعی استان خراسان جنوبی مربوط به انرژی الکتریسیته (۶۹ درصد) بود و پس از آن کود نیتروژن (۱۲ درصد)، گازوئیل (۹ درصد) و آب آبیاری (۵ درصد) قرار داشتند. سهم حشره‌کش، آفت‌کش و علف‌کش نسبت به سایر ورودی‌های انرژی بسیار اندک بود (شکل ۲).

انرژی الکتریکی در بخش کشاورزی عمدتاً برای به کار انداختن موتور پمپ‌های چاه‌های کشاورزی، گرم کردن و روشنایی گلخانه‌ها و مراکز پرورش دام و طیور استفاده می‌شوند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که در سال‌های گذشته سیاست تغییر سوخت پمپ‌های آبیاری در مزارع کشاورزی از گازوئیل به منبع

برق موجب شده تا از مصرف سوخت گازوئیل کاسته شده و نیروی الکتریسیته روند صعودی داشته باشد (۳۰).

مقایسه محصولات مورد مطالعه از نظر شاخص انرژی خروجی نشان می‌دهد که بیشترین میزان این شاخص به‌ترتیب متعلق به محصولات چغندرقند (۵۷۱۲۰۰ مگاژول در هکتار)، سورگوم علوفه‌ای (۳۹۱۹۲۰ مگاژول در هکتار) و یونجه (۱۲۰۸۷۰ مگاژول در هکتار) بوده و کمترین آن مربوط به نخود (۱۲۴۹۵ مگاژول در هکتار) و عدس (۱۳۷۴۴ مگاژول در هکتار) است (جدول ۴). بالا بودن میزان انرژی خروجی در یک محصول را می‌توان به میزان زیست‌توده تولید شده و انرژی هر واحد از زیست‌توده آن نسبت داد (۵). در تحقیقات مشابه انجام گرفته، میزان انرژی خروجی برای سورگوم علوفه‌ای ۲۷۵۲۰۸ مگاژول در هکتار (۶)، عدس آبی ۲۹۷۴۶ مگاژول در هکتار (۷)، گندم ۱۰۳۷۰۰ مگاژول در هکتار (۲۱)، کلزا ۸۵۵۵۶ مگاژول در هکتار (۳۱)، جو ۷۱۵۲۵ مگاژول در هکتار (۲۷)، ذرت سیلویی ۱۴۸۳۸۰ مگاژول در هکتار (۲۲)، یونجه ۱۱۵۹۷۱ مگاژول در هکتار (۳۲)، گزارش شده است.

نتایج به دست آمده در مورد انرژی خالص محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد که انرژی ورودی در اغلب محصولات از جمله گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه، کلزا، پنبه، نخود، عدس و پیاز بیشتر از انرژی خروجی بوده و در نتیجه بیلان انرژی در این محصولات منفی می‌باشد (جدول ۴). این در حالی بود که انرژی خالص سورگوم علوفه‌ای و چغندرقند مثبت بود (جدول ۴). فرتوت عنایت و همکاران (۶) انرژی خالص سورگوم علوفه‌ای در منطقه سیستان و بلوچستان را مثبت و ۲۳۷۵۱۳ مگاژول در هکتار گزارش کردند. بیشترین کارایی مصرف انرژی که نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی را نشان می‌دهد مربوط به چغندرقند (۳/۷۷) و سورگوم علوفه‌ای (۲/۷۲) و کمترین آن به‌ترتیب مربوط به محصولات نخود (۰/۱۶) و عدس (۰/۱۸) می‌باشد. مقایسه محصولات مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین شاخص انرژی مخصوص متعلق به کلزا (۲۷/۶ مگاژول بر کیلوگرم) و پنبه (۱۵/۳ مگاژول بر کیلوگرم) و کمترین آن نیز متعلق به پیاز (۱/۳۶ مگاژول بر کیلوگرم)، ذرت علوفه‌ای (۲/۵۶ مگاژول بر کیلوگرم) و سورگوم علوفه‌ای (۵/۲۳ مگاژول بر کیلوگرم) می‌باشد (جدول ۴). بررسی اشکال مختلف انرژی ورودی نشان داد که در نظام تولید محصولات زراعی مورد مطالعه، سهم انرژی مستقیم بیشتر از انرژی غیرمستقیم و سهم انرژی تجدید ناپذیر بیشتر از انرژی تجدید پذیر است (جدول ۴). این نتیجه با گزارش‌های سایر محققان مطابقت داشت (۵ و ۲۷).

پتانسیل گرمایش جهانی

پتانسیل گرمایش جهانی محصولات مورد مطالعه و سهم ورودی‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. مقایسه محصولات زراعی استان خراسان جنوبی حاکی از آن است که بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن به ترتیب در بوم نظام‌های یونجه (۴۱۵۶۶ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار)، چغندرقند (۲۹۱۷۹ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) و سورگوم علوفه‌ای (۲۷۳۹۶ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) مشاهده شد و کمترین آن متعلق به نخود (۱۴۳۵۷ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) و عدس (۱۴۷۴۱ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار) می‌باشد (شکل ۳). مقایسه سهم ورودی‌های مختلف از کل پتانسیل گرمایش جهانی محصولات نشان می‌دهد که در تمام محصولات زراعی مورد مطالعه، مصرف نیروی الکتریسیته (۹۲ درصد)، کود نیتروژن (۴ درصد)گازوئیل (۳ درصد) بیشترین نقش در انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند (شکل ۴). سهم نیروی الکتریسیته از کل پتانسیل گرمایش جهانی در بوم نظام‌های یونجه، چغندرقند و سورگوم علوفه‌ای به ترتیب ۹۴/۱، ۹۳/۸ و ۹۲/۸ درصد بود (شکل ۳). همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، نیروی الکتریسیته برای پمپاژ آب از چاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا در محصولات با نیاز آبی بالا مانند یونجه و چغندرقند که با دفعات بیشتری آبیاری می‌شوند، انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از الکتریسیته به بیشترین مقدار خود خواهد رسید. همچنین، در محصولاتی که مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنی بیشتر است میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای قابل توجه می‌باشد. لذا تولید محصولاتی که نیاز آبی بالا داشته و مصرف

کودهای نیتروژنی بالایی دارند در مقایسه با سایر محصولات بیشترین تأثیر را در انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی خواهند داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در بین محصولات زراعی مورد مطالعه در استان خراسان جنوبی، بیشترین انرژی در فرآیند تولید یونجه مورد استفاده قرار گرفته و بیشترین انرژی خروجی نیز به‌ترتیب متعلق به محصولات چغندرقند، سورگوم علوفه‌ای و یونجه بود. انرژی ورودی در محصولاتی مانند گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه، کلزا، پنبه، نخود، عدس و پیاز بیشتر از انرژی خروجی آن محصولات بوده و در نتیجه بیلان انرژی در این محصولات منفی بود. این در حالی بود که بیلان انرژی در سورگوم علوفه‌ای و چغندرقند مثبت بود. بیشترین کارایی مصرف انرژی مربوط به محصولات چغندرقند و سورگوم علوفه‌ای و کمترین آن به‌ترتیب مربوط به محصولات نخود و عدس بود. محصولات کلزا و پنبه به ازای تولید هر کیلوگرم محصول انرژی بیشتری نسبت به سایر محصولات مورد استفاده قرار دادند و کمترین آن مربوط به محصولات پیاز، ذرت علوفه‌ای و سورگوم علوفه‌ای بود.

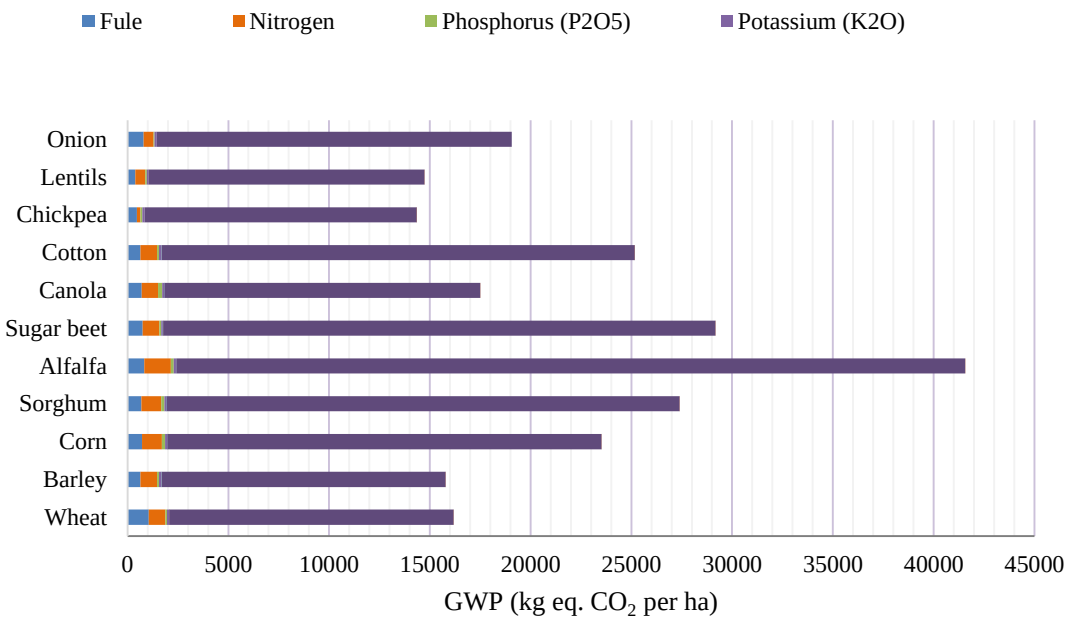
نتایج نشان داد که در نظام تولید محصولات زراعی مورد مطالعه، سهم انرژی مستقیم بیشتر از انرژی غیرمستقیم و سهم انرژی تجدید ناپذیر بیشتر از انرژی تجدید پذیر بود. بوم نظام‌های یونجه، چغندرقند و سورگوم علوفه‌ای به‌ترتیب بیشترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی را داشته و کمترین آن متعلق به محصولات نخود و عدس بود. مقایسه سهم ورودی‌های مختلف از کل پتانسیل گرمایش جهانی محصولات نشان داد که در اکثر محصولات مورد مطالعه، مصرف نیروی الکتریسیته، گازوئیل و کود نیتروژن بیشترین نقش را در انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کنند. بنابراین، تولید محصولاتی که نیاز آبی بالایی داشته و کود شیمیایی بیشتری در مقایسه با سایر محصولات زراعی در تولید آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، بیشترین تأثیر را در مصرف انرژی و گرمایش جهانی خواهند داشت. لذا مدیریت و بهینه‌سازی آبیاری در جهت افزایش کارایی مصرف آب و استفاده از عملیات زراعی مناسب، کودهای آلی و کود سبز برای افزایش حاصلخیزی خاک به‌عنوان جایگزین کودهای شیمیایی جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پیشنهاد می‌شود.

جدول ۴- شاخص‌های انرژی در نظام تولید محصولات مورد مطالعه

Table 4. Energy indicators in studiedprodaction systems

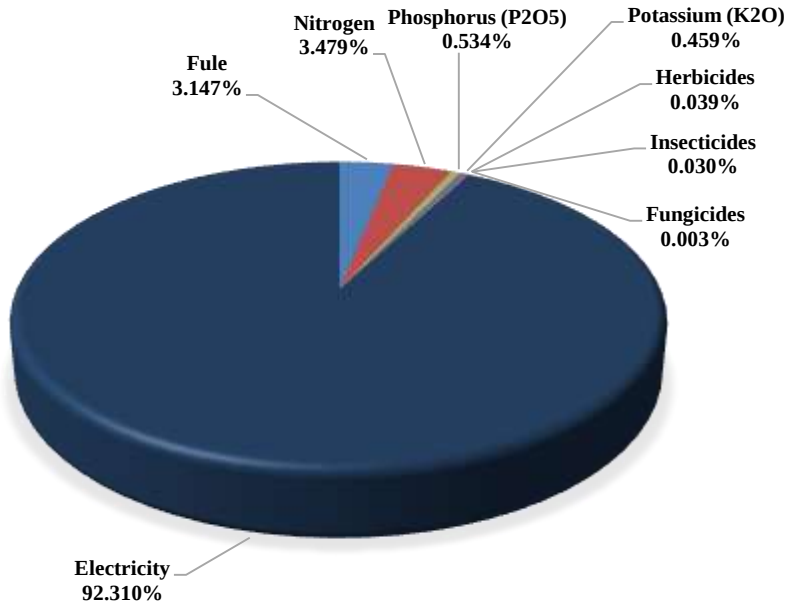
شاخص‌های انرژی	واحد	گندم	جو	ذرت	سورگوم	یونجه	چغندرقند	کلزا	پنبه	نخود	عدس	پیاز
انرژی ورودی	$MJ.\ ha^{-1}$	۹۲۵۹۷/۴۶	۹۰۶۲۸/۷۵	۱۲۹۲۳۲/۴۱	۱۴۳۹۸۶/۸۷	۲۱۳۱۰۱/۶۳	۱۵۱۶۲۰/۶۲	۹۶۷۰۱/۴۱	۱۳۲۸۵۹/۲۷	۷۶۷۳۹/۶۶۵	۷۸۰۸۲/۴۱۷	۱۰۳۸۸۶/۴۹
انرژی خروجی	$MJ.\ ha^{-1}$	۵۰۱۲۷	۴۶۸۹۳	۱۱۵۲۰۰	۳۹۱۹۲۰	۱۲۰۸۷۰	۵۷۱۲۰۰	۴۱۴۰۰	۳۵۱۹۰	۱۲۴۹۵	۱۳۷۴۴/۵	۲۰۴۰۰
انرژی خالص	$MJ.\ ha^{-1}$	-۴۲۴۷۰/۴۶	-۴۳۷۳۵/۷۵	-۱۴۰۳۲/۴۱	۲۴۷۹۳۳/۱۳	-۹۲۲۳۱/۶۳	۴۱۹۵۷۹/۳۸	-۵۵۳۰۱/۴۱	-۹۷۶۶۹/۲۷	-۶۴۲۴۴/۶۷	-۶۴۳۳۷/۹۲	-۸۳۴۸۶/۴۹
کارایی مصرف انرژی	-	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۸۹	۲/۷۲	۰/۵۷	۳/۷۷	۰/۴۳	۰/۲۶	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۰
انرژی ویژه	$MJ.\ kg^{-1}$	۱۴/۷۰	۱۴/۷۰	۲/۵۶	۵/۲۳	۱۳/۴۳	۱۴/۲۸	۲۷/۶۰	۱۵/۳۰	۱۲/۵۰	۱۲/۵۰	۱/۳۶
بهره‌وری انرژی	$kg.\ MJ^{-1}$	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۵۲	۰/۰۴	۰/۲۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۴
اشکال انرژی												
انرژی مستقیم	$MJ.\ ha^{-1}$	۷۷۸۵۵/۶۶ (٪۸۴/۰۸)	۷۵۹۶۱/۸۰ (٪۸۴/۸۲)	۱۱۱۵۲۹/۴۴ (٪۸۶/۳۰)	۱۲۹۰۰۶/۸۰ (٪۸۹/۶۰)	۱۹۴۴۹۸/۳۲ (٪۹۱/۲۷)	۱۳۹۸۱۳/۰۲ (٪۹۲/۲۱)	۸۴۰۸۳/۹۶ (٪۸۶/۹۵)	۱۱۹۵۲۶/۳۲ (٪۸۹/۸۶)	۷۰۸۲۹/۱۷ (٪۹۲/۳۰)	۷۰۰۳۲/۰۳ (٪۸۹/۶۹)	۹۶۰۴۴/۰۸ (٪۹۲/۴۵)
انرژی غیرمستقیم	$MJ.\ ha^{-1}$	۱۴۶۸۳/۸۰ (٪۱۵/۸۶)	۱۴۵۵۰/۹۵ (٪۱۶/۰۶)	۹۷۱۷۶۴۴ (٪۱۳/۶۵)	۱۴۹۲۲/۰۷ (٪۱۰/۳۶)	۱۸۵۴۵/۳۱ (٪۸/۷۰)	۱۱۶۹۱/۶۰ (٪۷/۷۱)	۱۲۵۵۹/۴۵ (٪۱۲/۹۹)	۱۳۲۱۶/۹۵ (٪۹/۹۵)	۵۸۲۳/۵۰ (٪۷/۵۹)	۷۹۳۴/۳۹ (٪۱۰/۱۶)	۷۸۴۲/۴۱ (٪۷/۵۵)
انرژی تجدید پذیر	$MJ.\ ha^{-1}$	۸۱۷۱/۳۰ (٪۸/۸۲)	۷۶۵۶/۳۲ (٪۸/۴۵)	۱۰۸۳۲/۶۴ (٪۸/۳۸)	۹۳۴۸/۲۰ (٪۶/۴۹)	۱۴۷۱۹/۱۶ (٪۶/۹۱)	۱۰۰۳۵/۲۸ (٪۶/۶۲)	۵۲۶۱/۵۲ (٪۵/۴۴)	۹۵۹۷/۸۰ (٪۷/۲۲)	۶۲۴۷/۷۱ (٪۸/۱۴)	۵۸۱۶/۱۱ (٪۷/۴۵)	۷۱۳۴/۶۴ (٪۶/۸۷)
انرژی تجدید ناپذیر	$MJ.\ ha^{-1}$	۸۴۳۶۸/۱۶ (٪۹۱/۱۱)	۸۲۸۵۶/۴۳ (٪۹۱/۴۲)	۱۱۸۳۴۱/۷۷ (٪۹۱/۵۷)	۱۳۴۵۸۰/۶۷ (٪۹۳/۴۷)	۱۹۸۳۲۴/۴۷ (٪۹۳/۰۷)	۱۴۱۴۶۹/۳۴ (٪۹۳/۳۰)	۹۱۳۸۱/۸۹ (٪۹۴/۵۰)	۱۲۳۱۴۵/۴۷ (٪۹۲/۶۹)	۷۰۴۰۴/۹۶ (٪۹۱/۷۵)	۷۲۱۵۰/۳۱ (٪۹۲/۴۰)	۹۶۷۵۱/۸۵ (٪۹۳/۱۳)

اعداد داخل پرانتز به مفهوم درصد از کل انرژی مورد نظر می‌باشد.



شکل ۳- سهم ورودی‌های مختلف در پتانسیل گرمایش جهانی در نظام‌های تولید محصولات زراعی خراسان جنوبی

Figure 3. The share of different input of global warming potential for crop production systems in South Khorasan province



شکل ۴- سهم ورودی‌های مختلف از کل پتانسیل گرمایش جهانی در نظام‌های تولید محصولات زراعی خراسان جنوبی

Figure 4. The share of different input of total global warming potential for crop production systems in South Khorasan province

References

1. Mehrabi Boshr Abadi, H., Esmaeeli, A., 2011. Input-Output analysis of energy in agricultural sector of Iran. Agricultural Economics and Development. Vol. 19, pp. 1-28.
2. Li, T., Baležentis, T., Makutėnienė, D., Streimikiene, D., Kriščiukaitienė, I., 2016. Energy-related CO_2 emission in European Union agriculture: Driving forces and possibilities for reduction. Applied Energy.Vol. 180, pp. 682-694.
3. Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
4. Rajaby, M.H., Soltani, A., Zeinali, E., Soltani, E., 2012. Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. Journal of of Plant Production. Vol. 19, pp. 143-172. (In Persian)
5. Vafabakhsh, J., Mohammadzadeh, A., 2019. Energy flow and GHG emissions in major field and horticultural crop production systems (Case Study: Sharif Abad Plain). Journal of Agroecology. Vol. 11, pp. 365-382. (In Persian)
6. Fartout Enayat, F., Mousavinik, S., Asgharipour, M., 2017. Evaluation of energy use efficiency, greenhouse gases emission and economic analysis of sorghum production in Sistan. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. Vol. 27, pp. 33-43. (In Persian)
7. Elhami, B., Akrami, A., Khanali, M., 2017. Optimization of energy consumption and mitigation of greenhouses gas emissions of irrigated lentil production using data envelopment analysis. Iranian Journal of Biosystems Engineering. Vol. 47, pp. 710-701. (In Persian)
8. Rezvantalab, N., Soltani, A., Zeinali E., Foroughnia, A., 2019. Study of energy indicators and greenhouse gas emissions in wheat production in Golestan Province. Journal of Agroecology. Vol. 9, pp. 17-38. (In Persian)
9. Taghinazhad, J., Vahedi, A., Ranjbar, F., 2019. Economic assessment of energy consumption and greenhouse gas emissions from wheat production in Ardabil Province. Environmental Science. Vol. 17, pp. 137-150. (In Persian)
10. Mohammadzadeh, A., Damghani, A.M., Vafabakhsh, J., 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. Vol. 24, pp. 16971-16984.
11. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Abd Shah, H., Kazemian, A., 2020. Agricultural Statistics of 2018-2019: Crops (Volume 1). Publications of the Ministry of Jihad Agriculture, Deputy of Program and Budget, General Directorate of Statistics and Information.
12. Mohammadi, A., Omid, M., 2010. Economic analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. Applied Energy. Vol. 87, pp. 191-196.

13. Yilmaz, I., Akcaoz, H., Ozkan, B., 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. Renewable Energy. Vol. 30, pp. 145-155.
14. IPCC. 1995. Climate Change, the Science of Climate Change. In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K. (Eds). Intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press.
15. Kramer, K.J., Moll, H.C., Nonhebel, S., 1999. Total greenhouse gas emissions related to the dutch crop production system. Agriculture, Ecosystems and Environment. Vol. 72, pp. 9-16.
16. Snyder, C., Bruulsema, T., Jensen, T., Fixen, P., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agriculture, Ecosystems and Environment. Vol. 133, pp. 247-266.
17. Tzilivakis, J., Warner, D., 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. Vol. 85, pp. 101-119.
18. Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. Environment International.Vol. 30, pp. 981-990.
19. Zangeneh, M., Omid, M., Akram , A., 2010. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan Province of Iran. Energy. Vol. 35, pp. 2927-2933.
20. Ozkan, B., Kurklu, A., Akcaoz, H., 2004. An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. Biomass Bioenergy. Vol. 26, pp.189-195.
21. Mohammadi, A., Rafiee, Sh., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi Avval, S. H., Nonhebel, S., 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 30, pp. 724–733.
22. Pishgar Komleh, S. H., Keyhani, A., Rafiee, S., Sefeedpary, P., 2011. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran Province of Iran. Energy. Vol. 36, pp. 3335-3341.
23. Ghaderpour, O., Rafiee, S., Sharifi, M., 2017. Analysis and modeling of energy and the production cost of alfalfa using multi-layer adaptive neuro-fuzzy inference system in Bukan Township. Iranian Journal of Biosystems Engineering. Vol. 48, pp. 190-179.
24. Gholami-Ghajelo, J., Ghanbarian, D., Maleki, A., Torki, M., 2015. Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet fields in Miandoab city, West Azerbaijan Province. Journal of Sugar beet. Vol. 31, pp. 109-122.
25. Ghaderpour, O., Gerami, K., Dehghan, E., 2020. Life cycle assessment and energy consumption optimization in rainfed chickpea west Azarbayjan Province. Iranian Journal of Biosystems Engineering. Vol. 51, pp. 611-628.
26. Molaee, M., Khanali, M., Mousavi, S. A., 2017. Energy flow analysis in crop production- case study of onion prodaction. In: 1st International and 5th National Conference on Organic vs. Conventional Agriculture, 16-17 August 2017, Ardabil, Iran.
27. Ghasemi Mobtaker, H., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., Akram, A., 2010. Sensitivity analysis of energy

inputs for barley production in Hamedan province of Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment. Vol. 137, pp. 367-372.

28. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., Movahedi, M., 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy. Vol. 52, pp. 333-338.
29. Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A., Mohammadi, A., 2011. Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. Journal of Cleaner Production. Vol. 19, pp. 1464-1470.
30. Boshrabadi, H., Naghavi, S., 2011. Estimating energy demand in agricultural sector of Iran. Journal of Agricultural Economics Research. Vol. 3, pp. 147-162.
31. Unakitan, G., Hurma, H., Yilmaz, F., 2010. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. Energy. Vol. 35, pp. 3623-3627.
32. Tsatsarelis, C., Koundouras, D., 1994. Energetics of baled alfalfa hay production in northern Greece. Agriculture, Ecosystems and Environment. Vol. 49, pp. 123-130.