



بررسی شاخص‌های انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در تولید کلزا در گرگان

محمد تقی فیض‌بخش^{۱*} و محسن باقری^۲

^۱ محقق و عضو هیات‌علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی گلستان،
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

چکیده

هدف از این بررسی مقایسه شاخص‌های انرژی و پتانسیل گرمایش در مزارع کلزا (شهرستان گرگان) کوچکتر و بزرگتر از دو هکتار بود. داده‌ها از طریق مصاحبه با کشاورزان (۲۸ کشاورز) جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که میزان انرژی ورودی در مزارع کوچکتر و بزرگتر از دو هکتار به ترتیب برابر ۱۹۷۸۹/۹ و ۱۷۵۱۰/۱ مگاژول در هکتار بود. در هر دو سطح بهره‌برداری بیشترین مصرف انرژی ورودی مربوط به کود نیتروژن و سوخت بود. همچنین کمترین انرژی ورودی در هر دو سطح بهره‌برداری مربوط به بذر مصرفی بود. کمترین پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) از مزارع بزرگتر از دو هکتار به میزان ۱۳۵۷/۵ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار به دست آمد. بر اساس نتایج این تحقیق با افزایش وسعت مزارع میزان سوخت مصرفی، انرژی ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی کاهش می‌یابد ولی عملکرد افزایش می‌یابد. بنابراین جهت افزایش کارایی نهاده‌های مصرفی و کاهش اثرات زیست‌محیطی یک‌پارچه‌سازی اراضی کشاورزی جهت کشت کلزا توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: کلزا، انرژی، کارایی انرژی، پتانسیل گرمایش جهانی

مقدمه

کلزا گیاهی است از خانواده شب بو (Brassicaceae)، یک‌ساله، دگرگشن و یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی که از دانه آن جهت تولید روغن استفاده می‌شود (Mokhtarpour et al., 2002). در سال‌های اخیر توجه به مسائل زیست‌محیطی افزایش یافته است. با افزایش آگاهی زیست‌محیطی، بخش‌های

*مسئول مکاتبه: feyz_54@yahoo.com

مختلف اقتصادی به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های خود مشغول شده‌اند. کشاورزی یکی از بخش‌های مهم اقتصادی است که اثرات مهمی بر محیط زیست دارد. در طی قرن بیستم تولیدات کشاورزی به نحو چشمگیری افزایش یافت که افزایش مکانیزاسیون، بهبود روش‌های تولید، کاربرد بسترده کودها و آفت‌کش‌ها و پیشرفت‌ها در دامپروری به افزایش تولید کمک زیادی نموده‌اند. اما، افزایش تولید و استفاده گسترده از نهاده‌ها به انواعی از مشکلات زیست‌محیطی مثل سرشارسازی^۱ منجر شده است. منبع اصلی چندین آلاینده مهم محیط زیست کشاورزی می‌باشد برای مثال، ۹۳ درصد آمونیاک از کشاورزی ناشی می‌شود بنابراین، مطالعه جنبه‌های زیست‌محیطی سیستم‌های تولید کشاورزی دارای اهمیت زیادی است (Soltani *et al.*, 2009). در بوم‌نظام‌های کشاورزی پیشرفته انرژی ورودی خیلی بالاتر از بوم‌نظام‌های سنتی است این در حالی است که کارایی انرژی در این بوم‌نظام‌ها پایین‌تر از بوم‌نظام‌های سنتی است (Singh *et al.*, 2002; Ozkan *et al.*, 2004). میزان انرژی ورودی و خروجی دو فاکتور مهم برای تعیین کارایی انرژی و اثرات زیست‌محیطی در تولید محصولات است و در محصولات مختلف، سیستم‌های تولید و شدت مدیریت بسیار متفاوت است (Rathke *et al.*, 2007). بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است انرژی ورودی برای یک هکتار محصول زراعی در سالیان اخیر افزایش چشمگیری یافته است. بنابراین امیدهایی که در دهه ۱۹۶۰ با ظهور انقلاب سبز به وجود آمده بود، در اوایل سال‌های دهه ۱۹۷۰ به یأس مبدل گردید. زیرا در چنین سال‌هایی بود که کمبود فرآورده‌های نفتی مطرح شد و به دنبال آن قیمت چنین فرآورده‌ها رو به فزونی گذاشت. با کاهش ذخایر فرآورده‌های نفتی، مصرف انرژی در کشاورزی و مانند آنچه که سابق بر آن مورد استفاده قرار می‌گرفت امکان‌پذیر نبود. بنابراین هزینه تولید افزایش یافت، بدون آنکه تغییری در قیمت مواد غذایی به وجود آید، و لذا زارعین اجباراً، از مصرف زیاد انرژی در تولید محصول صرف نظر کردند. از طرف دیگر مسائل زیست‌محیطی متعددی در پی مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، سموم دفع آفات نباتی و علف‌های هرز و تراکم کاری زیاد ماشین‌های مختلف کشاورزی در بوم‌نظام‌های زراعی باعث انهدام منابع طبیعی از جمله خاک، خطر افزایش گازهای سمی در اتمسفر و معدوم شدن گونه‌های موجودات ذره‌بینی خاک، پاره‌گی لایه ازن و به هم خوردن زنجیره‌های غذایی در بوم‌نظام‌های زراعی باعث بروز مشکلات بسیار بزرگ برای بشر شدند (Razzaghi, 2005).

ملایی و افزالی‌نیا (Molaei and Afzalinia, 2012) در دشت نمدان (شهرستان اقلید) مقدار انرژی ورودی و بهره‌وری انرژی را برای مزارع کلزا به ترتیب ۲۷۵۸۵/۷ مگاژول در هکتار و ۰/۲۱ کیلوگرم بر مگاژول برآورد نمودند. رحیمی‌کیا و همکاران (Rahimikia *et al.*, 2011) میزان مصرف انرژی بر واحد هکتار برای محصول کلزا در منطقه جنوب استان فارس (شهرستان فیروزآباد) مورد بررسی قرار دادند و

1. Eutrophication

نشان دادند که سهم برق مصرفی در کل انرژی ورودی بسیار بالاتر از سایر نهاده‌ها بود. نتایج حاصل از این تحقیق آنها نشان داد که انرژی الکتریسته (به‌طورمتوسط ۷۰ درصد) بیشترین سهم مصرف انرژی در تولید کلزا را به خود اختصاص داد. کارایی انرژی یک سیستم تولید کشاورزی را می‌توان از طریق هم‌ارز انرژی عملکرد تولید شده و هم‌ارز انرژی تمام نهاده‌ها و عملیات زراعی مورد استفاده تعیین کرد (Franzluebbers *et al.*, 1995). تجزیه و تحلیل بودجه انرژی در تولید ذرت در ایالت ایندیانا آمریکا نشان داد که ۹۰ درصد انرژی صنعتی از سوخت‌های فسیلی و کمتر از ۲ درصد از کل انرژی مورد نیاز برای تولید، از انرژی بیولوژیکی قابل تجدید از نیروی کار به‌دست می‌آید (Narsiri mahalati *et al.*, 2000). بهشتی‌تبار و همکاران (Beheshti Tabar *et al.*, 2010) در یک بررسی در ایران کارایی انرژی را در محصولات آبی: گندم ۱/۳۲، جو ۱/۲۲، سیب زمینی ۰/۸۵، ذرت ۱/۸۱، پیاز ۰/۸۶، چغندر قند ۱/۷۷، عدس ۰/۷، نخود ۰/۷۳، هندوانه ۰/۹۳، سویا ۱/۷۸، خیار ۰/۳۸، گوجه فرنگی ۰/۴۷، پنبه ۰/۴۹ و در محصولات دیم: گندم ۱/۲، جو ۱/۳۳، نخود ۱/۸۸، و در سویا ۴/۴۶ گزارش کرده‌اند. روحانی‌نژاد و همکاران (Ruhani nezhad *et al.*, 2011) نتایج نشان دادند که متوسط انرژی مصرفی در تولید کلزا در شهرستان شوشتر برابر با ۳۴۷۸۸/۷ (مگاژول در هکتار) بوده که انرژی مصرفی کود شیمیایی با ۵۸/۱ درصد و انرژی مصرفی سوخت دیزل با ۱۸/۳ درصد و انرژی مصرفی آبیاری با ۱۶/۴ درصد به‌ترتیب بیشترین سهم مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به بحران انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی تمام تلاش‌ها بر آن است که مصرف انرژی تا حد ممکن کاهش یابد. بخش کشاورزی نیز از این موضوع مستثنی نیست. در اکثر کشورهای پیشرفته و حتی در حال توسعه، انرژی وارد شده در سطح برای تولید محصولات مختلف کشاورزی را بررسی و با محاسبه شاخص کارایی انرژی سعی کرده‌اند نظام‌های کشاورزی خود را از نظر مصرف انرژی بهینه کنند (Nasirian *et al.*, 2006). میزان انرژی ورودی کمتر در سیستم‌های زراعی باعث افزایش راندمان انرژی و انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای نسبت به سیستم‌های انرژی پرنهاده می‌گردد (Ghorbani *et al.*, 2000).

برآوردهای اولیه نشان می‌دهد که فعالیت‌های کشاورزی حدود نیمی از منابع انتشار گاز در جهان را شامل می‌شود. از سال ۱۸۶۰ تا کنون سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در حدود ۹۰۰ میلیون هکتار افزایش داشته است که این افزایش با آزاد ساختن ۱۱۶ میلیون گرم کربن از ذخیره ۶۹۶ میلیون گرمی کربن قابل استفاده در سال ۱۸۶۰ باعث گرم شدن گلخانه‌ای کره زمین به میزان ۹ درصد تا سال ۱۹۸۰ شده است (Norouzi *et al.*, 2010). کاربرد کودهای نیتروژنی و عملیات زراعی ۷۸ درصد از انتشار N_2O را در آمریکا تشکیل می‌دهد. کاهش انرژی از منابع فسیلی در سیستم‌های کشاورزی یکی از مهمترین راه‌های پیچیده برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است و شناسایی روش‌های تولید که

راندمان انرژی را بالا برده و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند حیاتی است (Tzilivakis *et al.*, 2005). بررسی سیر انرژی در سیستم‌های تولید کشاورزی مزایای زیادی دارد و محققان جهت بررسی تولید محصولات کشاورزی در ارتباط با انرژی ورودی تحقیقات زیادی انجام داده‌اند (Clements *et al.*, 1995; Ozkan *et al.*, 2004; Singh *et al.*, 2002; Baruah *et al.*, 2004; Ghorbani *et al.*, 2000; 1995; Yousefi *et al.*, 2012; Soltani *et al.*, 2009; Zentner *et al.*, 2004; Franzluebbbers *et al.*, 1995). این مطالعه به منظور شناخت و بررسی سیر انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) در تولید کلزا در شهرستان گرگان انجام شد تا بتوان راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از اتلاف انرژی و کاهش اثرات زیست محیطی منابع را شناسایی نمود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این بررسی مزارع کلزا در محدوده شهرستان گرگان انتخاب گردیدند. این مزارع دارای تنوع بالایی از نظر سطح زیر کشت کلزا هستند و با توجه به همین موضوع مزارع کلزا به دو گروه (کمتر از دو هکتار و بیشتر از دو هکتار) تقسیم‌بندی شدند. بر همین اساس با مصاحبه با کشاورزان مختلف (۲۸ کشاورز از طریق تکمیل پرسشنامه در محدوده شهرستان گرگان) اقدام به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز ماشین‌آلات و نهاده‌های مصرفی شامل بذر، کود، سوخت و سموم در هر یک از مزارع شد. پس از این مرحله داده‌ها توسط نرم‌افزار اکسل در سه بخش مصرف سوخت، انرژی سوخت مصرفی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر مبنای معادل دی‌اکسید کربن محاسبه گردید. برای برآورد مقدار مصرف سوخت ماشین‌آلات به تفکیک، عملیات زراعی مشخص شدند. از رابطه (۱) بین میزان سوخت بر اساس مدت زمان کارکرد ماشین‌آلات بر حسب ساعت در هکتار (FH) و سوخت مورد نیاز یک ساعت کار تراکتور بر حسب لیتر در ساعت T میزان سوخت مصرفی FT تعیین شد (Soltani *et al.*, 2009).

$$FT = T \times FH \quad \text{رابطه (۱)}$$

برای برآورد مقدار مصرف انرژی در نهاده‌های مصرفی مثل کود، آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها میزان انرژی هر گرم ماده موثره در ضرایب مربوطه و وزن مخصوص آنها ضرب گردید. سایر محاسبات انرژی مصرفی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مورد استفاده در تولید و عملیات زراعی برای هر یک از روش‌ها با استفاده از ضرایب به‌دست آمده از منابع مختلف انجام شد (جدول ۲).

با برآورد کل انرژی‌های ورودی و خروجی شاخص‌های ارزیابی انرژی شامل نسبت یا کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص برای هر روش کاشت با استفاده از روابط تعریف شده زیر محاسبه شد (Hatirli *et al.*, 2008; Soltani *et al.*, 2013; Soltani *et al.*, 2009). این روابط عبارتند از:

- ۱- نسبت یا کارایی انرژی=مجموع انرژی خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) به مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار).
 - ۲- بهره‌وری انرژی (مگاژول در هکتار)=عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) به مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار).
 - ۳- انرژی ویژه (مگاژول در هکتار)=مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) به عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار).
 - ۴- عملکرد انرژی خالص (مگاژول در هکتار)=تفاوت مجموع انرژی خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) به مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار).
 - ۵- انرژی مستقیم و غیرمستقیم (انرژی مستقیم: الکتریسیته، سوخت، نیروی انسانی و دام؛ انرژی غیرمستقیم: ماشین، آبیاری، کود، سم و بذر).
 - ۶- انرژی تجدیدپذیر که قابل بازیافت بوده و در مقابل انرژی تجدیدناپذیر غیر قابل بازیافت می‌باشند و شامل موارد زیر هستند:
 - الف- انرژی‌های تجدیدپذیر: کودهای دامی، بذور، انرژی انسان و دام.
 - ب- انرژی‌های تجدیدناپذیر: سوخت، کودهای شیمیایی، سموم، الکتریسیته، آبیاری و ماشین‌آلات.برای محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی در مرحله اول از نتایج محاسبه انرژی در قسمت قبل برای کلزا در هر یک از عملیات زراعی انجام شده استفاده شد. سپس با به‌کارگیری ضرایب تولید گازهای CO_2 ، N_2O و CH_4 به ترتیب معادل ۱، ۳۱۰ و ۲۱ کیلوگرم CO_2 ، کل گازهای گلخانه‌ای به صورت معادل CO_2 محاسبه شدند (Soltani *et al.*, 2009).
- از حاصل تقسیم مقدار پتانسیل گرمایش جهانی بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار تولید دانه بر حسب تن در هکتار پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید هر تن دانه یا به عبارتی معدل وزنی به‌دست می‌آید. به همین ترتیب از تقسیم مقدار پتانسیل گرمایش جهانی بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار انرژی ورودی و همچنین تقسیم مقدار پتانسیل گرمایش جهانی بر انرژی خروجی بر حسب گیگاژول، معدل گرمایش جهانی بر حسب کیلو گرم CO_2 بر حسب گیگاژول انرژی مصرفی و انرژی تولید شده به‌دست می‌آید (Soltani *et al.*, 2013).

جدول ۱- تاریخ عملیات خاک‌ورزی، کوددهی، کاشت بذر، آبیاری، برداشت و حمل و نقل در مزارع کلزا.

عملیات زراعی	زمان انجام عملیات زراعی
شخم (۳۰ سانتی‌متر)	اوایل تا اواخر مه
دیسک (۱)	اواسط آبان
دیسک (۲)	اواسط آبان
دیسک (۳)	اواسط آبان
اختلاط کود با خاک	اواسط آبان
نهر کن	اواسط آبان
کود پایه	اواسط آبان
کاشت بذر	اواسط آبان
کنترل علف‌های هرز قبل از کاشت (۱)	اواسط آبان
کنترل آفات (۱)	اواسط اسفند تا اواسط فروردین
کود سرک (۱)	اوایل اسفند
کود سرک (۲)	اواسط اسفند
برداشت	اواسط خرداد
حمل و نقل	اواسط خرداد

جدول ۲- معادل‌های انرژی برای (گیگاژول در هکتار) ورودی‌ها و خروجی‌های مورد استفاده در تولید کلزا.

منبع	معدل انرژی (مگاژول بر واحد)	واحد مصرف	ورودی‌ها / خروجی‌ها
Venturi and Venturi, 2003	۲۴	کیلوگرم	بذر کلزا
Akcaoz <i>et al.</i> , 2009	۱/۹۶	ساعت	نیروی انسانی
Ozkan <i>et al.</i> , 2004؛ Akcaoz <i>et al.</i> , 2009	۶۰/۶	کیلوگرم	نیترژن (N)
Ozkan <i>et al.</i> , 2004؛ Akcaoz <i>et al.</i> , 2009	۱۱/۱	کیلوگرم	فسفر (P ₂ O ₅)
Ozkan <i>et al.</i> , 2004؛ Akcaoz <i>et al.</i> , 2009	۶/۷	کیلوگرم	پتاسیم (K ₂ O)
Hydrocarbon balance sheet of Country. 2008.	۳۸	لیتر	گازوئیل
Ozkan <i>et al.</i> , 2004	۱۲/۱	کیلو وات ساعت	الکتریسیته
Rathke <i>et al.</i> , 2004؛ Tzilivakis <i>et al.</i> , 2005	۲۸۷	کیلوگرم ماده موثره	علف‌کش‌ها
Rathke <i>et al.</i> , 2004؛ Tzilivakis <i>et al.</i> , 2005	۲۳۷	کیلوگرم ماده موثره	حشره‌کش‌ها
Venturi and Venturi, 2003	۲۴	کیلوگرم	دانه کلزا

نتایج و بحث

مقادیر ورودی‌های مختلف جهت تولید محصول در یک هکتار زمین در هر یک از سطوح بهره‌برداری در جدول ۳ ارائه شده است. این سطوح از جنبه‌های مختلف عملیات زراعی و ورودی به جز مصرف سوخت با یکدیگر تفاوتی ندارند. مصرف سوخت در سطوح کمتر از دو هکتار با ۲۰۵ لیتر در هکتار میزان بیشتری را برای عملیات زراعی مصرف می‌کند. میزان بالای مصرف انرژی سوخت در اراضی کمتر از دو هکتار دلایل متعددی می‌تواند داشته باشد، یکی از این علل استفاده از ادوات فرسوده و کهنه در این مزارع می‌باشد و این خود بدلیل وجود مشکلات اقتصادی و نبود سرمایه کافی است. علت دیگر متناسب نبودن ظرفیت ماشین (تراکتور) با اندازه زمین است، به طوری که با کاهش ابعاد زمین و دورزدن‌های مکرر میزان مصرف سوخت افزایش می‌یابد. روحانی‌نژاد و همکاران (Ruhani nezhad *et al.*, 2011) به نتایج مشابهی دست یافتند. میزان انرژی ورودی در مزارع کوچک‌تر و بزرگ‌تر از دو هکتار به ترتیب با ۱۹۷۸۹/۹ و ۱۷۵۱۰/۱ مگاژول در هکتار در هکتار به دست آمد (جدول ۴). این در حالی بود که ملایی و افزالی‌نیا (Molaei and Afzalinia, 2012) در دشت نمدان (شهرستان اقلید) مقدار انرژی ورودی را برای مزارع کلزا ۲۷۵۸۵/۷ مگاژول در هکتار برآورد نمودند. به نظر می‌رسد تفاوت اقلیم در منطقه باعث می‌گردد تا نهاده‌های مصرفی نیز تغییر یابد و میزان انرژی دچار نوسان گردد.

جدول ۳- مقادیر ورودی‌های مختلف جهت تولید محصول در یک هکتار در کلزا.

ورودی	واحد	مزارع بزرگ‌تر از دو هکتار	مزارع کوچک‌تر از دو هکتار
سوخت	لیتر در هکتار	۱۶۰	۲۰۵
بذر	کیلوگرم در هکتار	۷	۷
کود			
نیترژن	کیلوگرم در هکتار	۲۰۰	۲۰۰
فسفر	کیلوگرم در هکتار	۱۵۰	۱۵۰
پتاسیم	کیلوگرم در هکتار	۱۰۰	۱۰۰
آفت‌کش	گرم ماده موثره در هکتار	۲۵۰	۲۵۰
علف‌کش	گرم ماده موثره در هکتار	۱۴۴۰	۱۴۴۰
نیروی انسانی	ساعت	۴۴	۴۴
عملیات زراعی			
شخم	مرتبه	۱	۱
دیسک (تهیه بستر و اختلاط کود با خاک)	مرتبه	۴	۴
پخش کود	مرتبه	۱	۱
کاشت با ردیف‌کار	مرتبه	۱	۱
سم پاشی (آفت‌کش و علف‌کش)	مرتبه	۲	۲
برداشت	مرتبه	۱	۱

در جدول ۴ مشاهده می‌شود که بیشترین انرژی ورودی مزارع کوچک‌تر و بزرگ‌تر از دو هکتار به ترتیب با ۲۶/۵ و ۲۷/۸ درصد مربوط به مصرف کود پایه است. باروح و همکاران (Baruah *et al.*, 2004) و فیض‌بخش و سلطانی (Feyzbakhsh and Soltani, 2013) در مطالعات خود به ترتیب در مزارع برنج و ذرت به نتایج مشابهی دست یافتند و مهمترین انرژی ورودی در مزارع تحت کشت را کود معرفی کردند. کمترین انرژی ورودی (۱۶۸ مگاژول در هکتار) در هر دو سطح بهره‌برداری مربوط به بذر کلزا جهت کاشت است. در جدول ۵ انرژی مصرفی در روش‌های مختلف به دو بخش انرژی مصرفی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی شده و برآورد گردیده است. در بخش انرژی مصرفی مستقیم، انرژی سوخت مصرفی عملیات زراعی و نیروی انسانی ارائه شده است. انرژی سوخت مصرفی عملیات زراعی شامل انرژی مورد نیاز در مراحل شخم، دیسک، تسطیح، بذرکاری و کودپاشی می‌باشد. در بخش انرژی مصرفی غیرمستقیم، انرژی مورد نیاز برای تهیه و ساخت کود نیتروژن، کود فسفر، علف‌کش، بذر و وزن ماشین‌آلات مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین انرژی ورودی مستقیم در مزارع کلزا مربوط به سوخت و غیرمستقیم مربوط به کود نیتروژن است. لرزاده و همکاران (Lorzadeh *et al.*, 2012) نیز استفاده از انواع ماشین‌آلات کاشت، داشت و برداشت در مزارع مکانیزه را عامل اصلی افزایش مصرف سوخت معرفی کردند. میزان انرژی تجدیدپذیر (نیروی انسانی و انرژی بذر) و غیرتجدیدپذیر (سوخت، الکتریسیته، کود، ماشین‌آلات، حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و حمل و نقل) در جدول ۶ نشان می‌دهد که قسمت اعظم انرژی در هر دو سطح بهره‌برداری مربوط به انرژی غیر تجدیدپذیر است.

نسبت انرژی خروجی به ورودی در سطوح بهره‌برداری کوچک‌تر و بزرگ‌تر از دو هکتار به ترتیب برابر ۲/۹ و ۴/۱ محاسبه گردید. به عبارتی راندمان انرژی در سطوح بزرگ‌تر از دو هکتار بیشتر است و این امر به دلیل عملکرد بالاتر و همچنین مصرف نهاده‌های کمتر (سوخت مصرفی) در این سطح است (جدول ۶). کارایی انرژی برای محصولات مختلف زراعی به تغییرات فن‌آوری و ساختاری بوم‌نظام‌های کشاورزی بستگی داشته و دو عامل اساسی شامل میزان وابستگی سامانه به مصرف انرژی‌های صنعتی و عملکرد محصول در واحد سطح بیشترین تأثیر را بر کارایی انرژی سیستم‌های تولید کشاورزی دارد (Rahimizadeh *et al.*, 2007). میزان بهره‌وری انرژی و بازده انرژی خالص در اراضی بزرگ‌تر از دو هکتار بیشتر از اراضی کوچک‌تر از دو هکتاری است (جدول ۶). دلیل این امر سهم زیاد انرژی سوخت مصرفی عملکرد پایین در واحد سطح در اراضی کمتر از دو هکتار است. قربانی و همکاران (Ghorbani *et al.*, 2000) نیز یکی از دلایل افزایش راندمان در سامانه‌های کشاورزی را مصرف کمتر نهاده‌ها معرفی کردند. کاظمی (Kazemi, 2014) انرژی ویژه و انرژی خالص برای تولید سویا را به ترتیب ۲۲ و ۷۰۴۹۴ مگاژول در هکتار بدست آورد. همچنین کوچکی و حسینی (Kochehi and Hosseini, 1994) کارایی انرژی تولید ذرت دانه‌ای را در منطقه بجنورد ۲/۵۹ گزارش

نمودند. ولی قاسمی نژاد و همکاران (Ghasemi nejad *et al.*, 2004) کارایی انرژی در تولید ذرت دانه‌ای را در منطقه کوه‌دشت ۱/۷۳ به‌دست آوردند. تفاوت کارایی انرژی یک گیاه در دو منطقه به‌دلیل تفاوت در عملکرد، تغییر اقلیم، عملیات زراعی، نهاده‌های مصرفی، تناوب زراعی و سیستم کشت (آبی یا دیم) است (Franzluebbbers *et al.*, 1995).

جدول ۴- مقادیر انرژی ورودی به تفکیک گروه زراعی برحسب مگاژول در هکتار.

عملیات زراعی	مزارع بزرگ‌تر از دو هکتار		مزارع کوچک‌تر از دو هکتار	
	میانگین	درصد از کل	میانگین	درصد از کل
شخم	۱۳۷۹/۶	۷/۸	۱۶۲۱/۳	۸/۱
دیسک	۱۹۰۹/۵	۱۰/۹	۲۵۳۴/۴	۱۲/۸
دیسک (تهیه بستر و اختلاط کود با خاک)	۶۷۵/۹	۳/۸	۸۸۲/۸	۴/۴
کود پایه	۴۸۶۴/۵	۲۷/۸	۵۲۵۳/۲	۲۶/۵
بذر کلزا	۱۶۸	۰/۹۵	۱۶۸	۰/۸
ردیف کار	۱۰۸۳/۲	۶/۱	۱۳۲۶/۶	۶/۷
حشره کش	۶۹۱/۷	۳/۹	۸۵۴/۶	۴/۳
علف کش	۳۷۲	۲/۱	۵۳۴/۹	۲/۷
کود سرک	۵۶۱۳/۲	۳۲	۵۶۱۳/۲	۲۸/۳
برداشت	۷۵۲/۱	۴/۳	۱۰۰۰/۵	۵
کل	۱۷۵۱۰/۱	۱۰۰	۱۹۷۸۹/۹	۱۰۰

جدول ۵- مقادیر انرژی‌های ورودی مستقیم و غیرمستقیم برای هر عملیات در مزارع کلزا.

انرژی‌های ورودی	مزارع بزرگ‌تر از دو هکتار		مزارع کوچک‌تر از دو هکتار	
	میانگین	درصد از کل	میانگین	درصد از کل
مستقیم				
سوخت برای عملیات زراعی	۶۰۶۶	۳۴/۶	۷۷۹۰	۳۹/۳
نیروی انسانی	۸۶/۲	۰/۴۹	۸۶/۲	۰/۴۳
غیرمستقیم				
کود نیتروژن	۸۳۶۲/۸	۴۷/۱	۸۳۶۲/۸	۴۲/۲
کود فسفر	۷۶۵/۹	۴/۱	۷۶۵/۹	۳/۵
کود پتاسیم	۳۲۱/۶	۱/۴	۳۲۱/۶	۱/۶
بذر	۱۶۸	۰/۹۲	۱۶۸	۰/۸۴
علف‌کش‌ها	۴۸۲/۱	۲/۳	۴۸۲/۱	۲/۴
حشره‌کش‌ها	۳۸۷/۴	۲/۲	۳۸۷/۴	۱/۳
ماشین‌آلات	۷۳۸/۴	۴/۱	۷۳۸/۴	۳/۳
حمل‌ونقل	۵۵۵/۷	۳/۱	۱۱۱۱/۵	۵/۲
جمع کل	۱۷۵۱۰/۱	۱۰۰	۱۹۷۸۹/۹	۱۰۰

جدول ۶- مقادیر انرژی ورودی، خروجی و نسبت‌های انرژی ورودی به خروجی در کلزا و در شهرستان گرگان.

مزارع بزرگ‌تر از دو هکتار		مزارع کوچک‌تر از دو هکتار		شکل‌های مختلف انرژی
هکتار		هکتار		
ورودی‌ها				
۷/۸	۶/۱	انرژی ورودی مستقیم (گیگاژول در هکتار)		
۱۱/۹	۱۱/۴	انرژی ورودی غیرمستقیم (گیگاژول در هکتار)		
۱۹/۷	۱۷/۵	انرژی ورودی کل (گیگاژول در هکتار)		
۱۹/۴۵	۱۷/۲۵	انرژی غیرقابل تجدیدپذیر (گیگاژول در هکتار)		
۰/۲۵	۰/۲۵	انرژی تجدیدپذیر (گیگاژول در هکتار)		
خروجی‌ها				
۵۷/۶	۷۲	انرژی خروجی دانه (گیگاژول در هکتار)		
۵۷/۶	۷۲	انرژی خروجی کل (گیگاژول در هکتار)		
۲/۹	۴/۱	نسبت انرژی خروجی به ورودی		
۸/۲	۵/۸	انرژی ویژه (گیگاژول بر تن)		
۰/۱۲	۰/۱۷	بهره‌وری انرژی (تن بر گیگاژول)		
۳۷/۹	۵۴/۵	بازده انرژی خالص (گیگاژول در هکتار)		

جدول ۷ نشان می‌دهد که پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) بر حسب معادل کیلوگرم CO₂ در هکتار در سطوح بهره‌برداری به جز میزان سوخت مشابه است. بیشترین و کمترین پتانسیل گرمایش جهانی به ترتیب از سطوح بهره‌برداری بیش‌تر از دو هکتار (۱۳۵۷ کیلوگرم CO₂ در هکتار) و سطوح بهره‌برداری کمتر از دو هکتار (۱۴۹۲ کیلوگرم CO₂ در هکتار) است. دلیل این موضوع مصرف سوخت زیادتر در سطوح بهره‌برداری کمتر از دو هکتار است به طوری که سهم سوخت مصرفی در پتانسیل گرمایش جهانی و در سطوح بزرگ‌تر از دو هکتار و کمتر از دو هکتار به ترتیب برابر ۳۴/۸ و ۴۰/۷ درصد بود.

همچنین در هر دو سطح بهره‌برداری بیشترین میزان تولید گازهای گلخانه‌ای از کود نیتروژن به دست آمد و کمترین میزان تولید گازهای گلخانه‌ای مربوط به کود پتاسیم بود. فیض‌بخش و سلطانی (Feyzbakhsh and Soltani, 2013) نیز نشان دادند بیشترین و کمترین تولید گازهای گلخانه‌ای در مزارع ذرت دانه‌ای به ترتیب مربوط به کود نیتروژن و کود پتاسیم بود. آنان بیان نمودند با توجه به بالا بودن کود نیتروژن مصرفی، بررسی و تحقیق جهت کشت‌های تناوبی و استفاده از گیاهانی که قادر به تثبیت نیتروژن هستند صورت گیرد تا میزان مصرف کودهای نیتروژنی کاهش یابد. لال (Lal, 2004) بیان نمود که شخم، کود، آفت‌کش‌ها و آبیاری مهم‌ترین عملیاتی هستند که کربن تولید می‌کنند و علت آن مصرف سوخت و انرژی است.

جدول ۷- مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) بر حسب معادل کیلوگرم CO₂ در هکتار) ناشی از فعالیت‌های مختلف در مزارع کلزا در شهرستان گرگان.

مزارع کوچک‌تر از دو هکتار		مزارع بزرگ‌تر از دو هکتار		عملیات
درصد از کل	میانگین	درصد از کل	میانگین	نهاده‌های زراعی
				تولید و حمل و نقل
۴۰/۸	۶۰۸/۹	۴۴/۸	۶۰۸/۹	نیتروژن
۴/۵	۶۸/۲	۵	۶۸/۲	فسفر
۱/۷	۲۶/۳	۱/۹	۲۶/۳	پتاسیم
۵/۹	۸۸/۷	۶/۵	۸۸/۷	آفت‌کش‌ها
۴۰/۷	۶۰۷/۶	۳۴/۸	۴۷۳/۱	سوخت
۶/۱	۹۲/۳	۶/۸	۹۲/۳	تولید، حمل و نقل و نگهداری ادوات و ماشین‌آلات
۱۰۰	۱۴۹۲	۱۰۰	۱۳۵۷/۵	کل پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)

جدول ۸- مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی به صورت کیلوگرم معادل CO₂ در واحد سطح، وزن، انرژی ورودی و انرژی خروجی در کلزا در شهرستان گرگان.

کوچک‌تر از دو هکتار	بزرگ‌تر از دو هکتار	
۱۴۹۲	۱۳۵۷/۵	در واحد سطح (کیلوگرم معادل CO ₂ در هکتار)
۶۲۱/۶	۴۵۲/۵	در واحد وزن (کیلوگرم معادل CO ₂ در هر تن محصول)
۷۷/۷	۷۵/۵	در واحد انرژی ورودی (کیلوگرم معادل CO ₂ در گیگاژول)
۲۵/۹	۱۸/۸	در واحد انرژی خروجی (کیلوگرم معادل CO ₂ در گیگاژول)

مقایسه مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) براساس واحد وزن عملکرد محصول در هکتار برای هریک از سطوح بهره‌برداری نشان می‌دهد که تفاوت زیادی بین سطوح بهره‌برداری وجود دارد (جدول ۸). به طوری که پتانسیل گرمایش جهانی به صورت کیلوگرم معادل CO₂ در سطوح بهره‌برداری بیشتر از دو هکتار ۴۵۲/۵ کیلوگرم معادل CO₂ در هر تن محصول و در سطوح کمتر از دو هکتار ۶۲۱/۶ کیلوگرم معادل CO₂ در هر تن محصول به دست آمد. همچنین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی خروجی در سطوح بهره‌برداری بیشتر از دو هکتار و سطوح کمتر از دو هکتار به ترتیب به میزان ۱۸/۸ و ۲۵/۹ کیلوگرم معادل CO₂ در گیگاژول به دست آمد. که مهم ترین دلیل آن مصرف سوخت بیشتر و عملکرد دانه کمتر در سطوح بهره‌برداری کمتر از دو هکتار است. فیض بخش و سلطانی (Feyzbakhsh and Soltani, 2013) نیز گزارش نمودند در بین روش‌های مختلف کاشت ذرت دانه‌ای (بهاره و تابستانه) اختلاف زیادی از نظر مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی وجود دارد. همچنین جابرو و

همکاران (Jabro *et al.*, 2007) جریان دی اکسید کربن تحت تأثیر شخم و آبیاری را محاسبه کردند و گزارش نمودند که تفاوت معنی داری بین جریان های دی اکسید کربن در اعمال مدیریتی زمین (آبیاری و شخم) در داده های اندازه گیری شده وجود دارد.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که بیشترین سهم انرژی ورودی در مزارع کلزا مربوط به کود نیتروژن و سوخت مصرفی است. چون میزان انرژی مصرفی در قسمت کود مصرفی در زراعت کلزا زیاد است لزوم بررسی و تحقیق جهت کشت های تناوبی و استفاده از گیاهانی که قادر به تثبیت نیتروژن هستند آشکار می گردد. همچنین با طرح یک پارچه سازی اراضی می توان راندمان استفاده از ماشین آلات کشاورزی را بالا برد و در میزان سوخت مصرفی صرفه جویی نمود یکی دیگر از دلایل عمده بالا بودن سوخت مصرفی متناسب نبودن ظرفیت ماشین با اندازه زمین است که بایستی مورد توجه مدیران بخش کشاورزی قرار گیرد.

منابع

- Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., and Kizilay, H. 2009. Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *J. Food Agri. Environ.* 7: 475-480.
- Baruah, D.C., Das, P.K., and Dutta, P.K. 2004. Present status and future demand for energy for bullock-operated rice farms in Assam (India). *Appl. Energy.* 79: 145-157.
- Beheshti Tabar, I., Keyhani, A.R., and Rafiee, S. 2010. Energy balance in Iran *Agronomy. Renew. Energy.* 14: 489- 855.
- Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., and Ozmerzi, A. 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energ. Convers. Managem.* 46: 655-666.
- Clements, D.R., Weise, S.F., Brown, R., Stonehouse, D.P., Hume, D.J., and Swanton, C.J. 1995. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management systems. *Agric. Eco. Environ.* 52: 119-128.
- Feyzbakhsh, M.T., Soltani, A. 2013. Energy flow and global warming potential of corn farm (Gorgan City). *Elc J. Crop Prod*, 6 (2): 89-107. (In Persian).
- Franzluebbers, A.J., and Francis, C.A. 1995. Energy output: input ratio of maize and sorghum management systems in eastern Nebraska. *Agric. Eco. Environ.* 53: 271-278.
- Ghasemi nejad, M., and Safaei Nejad, M. 2004. Energy ratio (output) and net energy of corn in the city of Kermanshah Kouhdasht. 5th Proceedings of the National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization.

- Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, SH., Feizi, H., Khorramdel, S., Hassanzadeh Goroteh Tapeh, A., and Haydr Gholinejad, M. 2000. Energy balance in Wheat on Mazandaran Province. *Pajouhesh and Sazandegi*, 58: 63-65.
- Hatirli, S.A., Ozkan, B., and Fret, C. 2008. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renew. Energy*. 3:427-438.
- Hydrocarbon balance sheet of Country. 2008. Department of Energy Management Institute for International Studies. Available at <http://www.iies.org>.
- Jabro, J.D., Sainju, U., Stevens, W.B. and Evans, R.G. 2007. Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops. *Environ. Manag.* 88: 1478-1484.
- Kazemi, H. 2014. Energy flow evaluation of soybean fields in Golestan province. *Iranian Journal of Oilseed Plants*. 3(1): 13-27.
- Kochehi, A., and Hosseini, M. 1994. *Energy Efficiency in Agricultural Ecosystems*. Ferdowsi University of Mashhad Press. 230p.
- Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environ. Int.* 30: 981-990.
- Lorzadeh, S.H., Mahdavidameghani, A., Enayatgholizadeh, M.R., and Yosefi, M. 2012. Research of Energy use efficiency for Maize production system in Izeh, Iran. *Acta Agric. Slovinica*. 99: 137-142.
- Mokhtarpour, H., Behmaram, R., and Zeyadlo, S. 2002. *Agricultural Guidelines in Golestan province*. Noruzi Press. 132p.
- Molaei, K., and Afzalnia, S. 2012. Determination of energy indices in producing wheat and canola in Dashte Namdan Agro-industry (Eghlid region, Fars). *Crop Ecophysiology Journal*. 4(1):26-36.
- Narsiri Mahalati, M., Koochehi, A., Rezvani, P., and Beheshti, A. 2000. *Agroecology*. Ferdowsi University of Mashhad Press. 327p.
- Nasirian, N., Almasi, S. Minaee and Bakhoda, H. 2006. Study of Energy flow in Sugercan production in an Agro-industry unit in South of Ahvaz. In proceeding 4th national congress of Agricultural Machinery Engendering and Mechanization, 28-29 Aug. Tabriz University. Tabriz, Iran.
- Norouzi, R. 2010. The sources and sink of methane greenhouse gas emission and its role in global warming. 4th International Congress of the Islamic Word Geographers. 23-24 Sep. Zahedan, Iran.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., and Fert, C. 2004. Energy input-output analysis in Turkish Agriculture. *Renew. Energy*. 29: 39-51.
- Rahimimikia, M., Emad, B., and Aghakhani, M.H. 2011. Study and evaluation energy indexes of canola production in south of Fars province (A case study in firuze abad county). First National Congress on Science and New Technologies. 19-21 Sep. Zangan, Iran.
- Rahimizadeh, M., Madani, H., Rezadust, S., Mehraban, S., and Marjani, A. 2007. Energy analysis of Agricultural ecosystem and Strategies to increase energy efficiency. 6th National Conference on Energy. Tehran.

- Rathke, G.W. and Diepenbrock, W. 2006. Energy balance of winter oil seed rape cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. Euro. Jour. Agronomy. 24: 35- 44.
- Rathke, G.W., Wienhold, B.J., Wilhelm, W.W., and Diepenbrock, W. 2007. Tillage and rotation effect on corn-­soybean energy balances in eastern Nebraska. Soil Till. Res. 97: 60-70.
- Razzaghi, M.H. 2005. Energy efficiency and Different Tillage System in Forage Corn Production. A these for M.Sc. Shahid Chamran University of Ahvaz. 100p.
- Rohani Nezhad , M.H., Arzhang, J., and Shirali Nezhad, M. 2013. An analysis of energy consumption of canola production in Shoushtar city. The first Congress of the New Technique in Agriculture. Nov. Saveh. Iran.
- Singh, H., Mishra, D., and Nahar, N.M. 2002. Energy use pattern in production agriculture of typical village in arid zone, India-­part-I. Energy Convers Manage, 43: 2275-­86.
- Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., and Soltani, E. 2009. Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan. Elc J. Crop Prod, 3: 201-218. (In Persian).
- Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., and Soltani, E. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. Energy 50: 54-61.
- Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. Agric. Sys. 85: 101-119.
- Venturi, P., and Venturi, G. 2003. Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. Biomass and Bioenergy, 25: 235-255.
- Yousefi, M., Darijani, F., and Alipour Jahangiri, A. 2012. Comparing energy flow of greenhouse and open-field cucumber production systems in Iran. African. J. Agric. Res. 7: 624-628.
- Zentner, R.P., Lafond, G.P., Derksen, D.A., Nagy, C.N., Wall, D.D., and May, W.E. 2004. Effects of tillage method and crop rotation on non-renewable energy use efficiency for a thin black Chernozem in the Canadian Prairies. Soil Till. Res., 77: 125-136.