Plant Production and Genetics **تولید و ژنتیک گیاهی**
Vol. 5, No. 2, Autumn & Winter 2024, p. 325-336 **جلد ۵، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، صفحه ۳۳۶-۳۲۵**
DOI: 10.22034/PLANT.2024.141703.1114 مقاله پژوهشی

اثر خاک‌ورزی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) و نخود (*Cicer arietinum*) دیم تحت شرایط اقلیمی منطقه کرمانشاه

فرزانه انگزی [۱]، فرزاد مندنی [۲]، مختار قبادی[۲]، محمد یوسفی [۳]

۱. دانشجو ی کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲. دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳. دانش آموخته دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۲

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم‌های خاک‌ورزی گندم و نخود دیم در سال زراعی ۱۴۰۰ در منطقه کرمانشاه انجام شد. میزان نهاده های مصرفی بر مبنای عملیات کشاورزی در مزارع گندم و نخود از مرحله کاشت تا برداشت محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در سه شامل انرژی‌های ورودی، خروجی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بود. نتایج نشان داد کل انرژی ورودی در سیستم‌های خاک‌ورزی رایج، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی گندم به‌ترتیب، ۱۳۸۴۵، ۹۷۱۷ و ۸۶۷۱ مگاژول در هکتار و برای نخود به ترتیب، ۷۰۰۹، ۵۲۵۶ و ۴۴۷۰ مگاژول در هکتار بود. کارایی مصرف انرژی در خاک‌ورزی رایج، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی گندم به ترتیب، ۳/۲، ۴/۹ و ۵/۱ و برای نخود به ترتیب، ۲/۶، ۲/۸ و ۳/۹ بود. بیشترین میزان پتانسیل گرمایش جهانی در مزارع گندم و نخود در خاک‌ورزی رایج به ترتیب، ۱۰۶/۸ و ۹۶/۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار بود. در خاک‌ورزی رایج گندم میزان انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی حدود ۱۸۴/۹ درصد بیش‌تر از کم خاک‌ورزی و ۲۲۳/۸ درصد بیش‌تر از بی‌خاک‌ورزی بود. در خاک‌ورزی رایج نخود به علت مصرف سوخت‌های فسیلی انتشار دی‌اکسید کربن به‌ترتیب، ۴۳/۲ و ۸۱/۲ درصد نسبت به کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی بالاتر بود. صرفنظر از نوع محصول انتشار گاز اکسید نیتروژن در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی در خاک‌ورزی رایج به ترتیب، ۴۳/۲ و ۸۰/۰ درصد بیشتر از کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی بود. به طورکلی نتایج نشان داد خاک‌ورزی رایج دارای کمترین کارایی انرژی و بالاترین میزان پتانسیل گرمایش جهانی در مقایسه با دیگر سیستم‌ها بود.

کلیدواژگان: انرژی تجدید پذیر، انرژی مستقیم ، کارایی مصرف انرژی، گرمایش جهانی

*ایمیل نویسنده مسئول: f.mondani@razi.ac.ir

مقدمه

یکی از چالش‌های مهمی که در سال‌های اخیر توجه محققان را به خود جلب کرده، پدیده تغییر اقلیم جهانی است. بسیاری از پژوهش‌های صورت گرفته تأثیر قابل توجه انسان بر تغییر اقلیم جهانی را نشان می‌دهند (Panahi & Esmaeel Darjani, 2020 ;Moradi & Pourqasmian, 2017). افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن دلیل اصلی ایجاد تغییر اقلیم بوده که به شدت تولید بوم نظام‌های کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Moradi & Pourqasmian, 2017). عملیات تولید محصولات کشاورزی هم می‌توانند منبع بسیار مهمی برای تولید گازهای گلخانه‌ای باشند و هم می‌توانند محلی برای ترسیب این گازها به حساب آیند (Johnson *et al*., 2007). در سال های اخیر مصرف انرژی در بخش کشاورزی و به خصوص کشاورزی مدرن به شدت افزایش یافته است. انرژی که در بخش کشاورزی استفاده می‌شود غالباً صرف نهاده‌هایی همچون سوخت‌های فسیلی، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات می‌شود که استفاده نامناسب و غیربهینه از این نهاده‌ها علاوه بر اینکه کارآیی مصرف انرژی در این سیستم‌ها را کاهش می‌دهد برای سلامت انسان و محیط زیست نیز خطرناک است (Lin & Xu, 2018). مصرف بی‌رویه انرژی در بخش کشاورزی سبب ایجاد مشکلات فراوانی برای محیط زیست می‌شود که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به پدیده گرمایش جهانی و آلودگی‌های زیست محیطی اشاره کرد. بنابراین، جستجو برای یافتن راهکارهای تولید بهینه محصولات کشاورزی بسیار ضروری است (Aghalikhani & Ahmadi, 2012). در همین راستا تجزیه و تحلیل میزان مصرف انرژی، ارتباط آنها با تولید گازهای گلخانه‌ای و همچنین تعیین سهم هر کدام از انرژی‌های فسیلی و تجدیدشونده که بصورت مستقیم و یا غیر مستقیم در مزرعه مصرف می‌شوند، می‌تواند باعث دست‌یابی به روش‌های مناسبی برای بهبود کارایی مصرف نهاده‌های طبیعی و شیمیایی شود که در نهایت ما را به سمت طراحی یک سیستم تولید پایدار و بوم‌سازگار محصولات کشاورزی هدایت می‌کند (Lin & Xu, 2018; Mondani *et al*, 2017; Zahedi *et al*, 2015). از طرفی دیگر با در نظر داشتن بحران انرژی در دنیا و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف نهاده‌های انرژی، تلاش‌های زیادی در راستای کاهش مصرف انرژی صورت گرفته است (Feyzbakhsh & Alizadeh, 2018).

خاک‌ورزی یکی از مهمترین و غیرقابل اجتناب‌ترین عملیات کشاورزی در تولید محصولات زراعی است. در طی این عملیات حرکت ماشین‌آلات کشاورزی علاوه بر مصرف سوخت‌های فسیلی منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای نظیر دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن به اتمسفر و همچنین باعث تخریب ساختمان خاک می‌شود (Baudron *et al*, 2015). در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی کاربرد ماشین‌آلات کشاورزی برای انجام عملیات شخم و تهیه بستر بسیار کاهش می‌یابد (Baudron *et al*., 2015). بنابراین تغییر در مدیریت مربوط به فعالیت‌ها و فناوری‌های مورد استفاده در تولید محصولات زراعی توسط کشاورزان، می‌تواند در کاهش مصرف انرژی و همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای موثر باشد (Ozkan & Akcaoz, 2002). روش‌های مدیریتی مناسب می‌تواند باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر شود. از این رو، تمرکز بر کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی برای کاهش مصرف انرژی و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای، می‌تواند روش موثری باشد. بنابراین، باید از ماشین‌آلات و ادواتی استفاده شود که علی‌رغم بهره‌وری بالاتر در زمان استفاده، دارای مصرف سوخت کم‌تری نیز باشند، که این موضوع منجر به افزایش کارایی مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (Rezvantalab *et al*., 2018). در مطالعه‌ای مشخص شد که در بین سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی در تولید ذرت دانه‌ای، بیشترین کارایی مصرف انرژی (۱/۸۱ مگاژول بر هکتار) متعلق به سیستم کم‌خاک‌ورزی با دیسک و بیشترین و کمترین انرژی ویژه به میزان ۹ و ۸/۱ مگاژول بر کیلوگرم به‌ترتیب به خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاکورزی با دیسک تعلق داشت (Afzaligorouh *et al*, 2021). در پژوهشی دیگر که با هدف بررسی اثرات خاک‌ورزی بر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تناوب گندم-پنبه صورت گرفت، مشخص شد که روش‌های بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی به دلیل مصرف پایین‌تر سوخت و ماشین آلات، به‌ترتیب باعث کاهش ۱/۵۳ و ۱/۱۹ درصدی مصرف انرژی نسبت به خاک‌ورزی رایج شدند (Afzalinia, 2020). همچنین گزارش شده است خاک زراعی مناسب، پتانسیل بالایی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد و عملیات خاک‌ورزی از جمله موثرترین روش‌های مدیریتی برای

کاهش انتشار نیتروژن است (Mirzaei *et al*, 2022).

استان کرمانشاه در تولید محصولات زراعی از جمله گندم و نخود یکی از مهمترین استان‌های کشور است. سطح زیرکشت کل اراضی زراعی استان حدود ۸۴۰ هزار هکتار است که از این مقدار به‌ترتیب، ۷۴ و ۲۶ درصد به کشت محصولات دیم و آبی اختصاص دارد (MJA, 2022). در بین شهرستان‌های این استان، شهرستان کرمانشاه به دلیل وسعت زیاد اراضی قابل کاشت، بیشترین نقش را در تولید محصولات کشاورزی ایفاء می‌کند. شهرستان کرمانشاه دارای آب و هوای معتدل است و همه ساله بخش قابل توجهی از اراضی آن به کشت گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) و نخود دیم (*Cicer arietinum*) اختصاص می‌یابد. بنابراین، هدف از انجام این پروژه، بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف نهاده‌ها و همچنین تعیین اثرات روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر کارایی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم‌های تولید گندم و نخود دیم در منطقه کرمانشاه بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در غرب ایران، شهرستان کرمانشاه و در سال زراعی ۱۴۰۰ اجرا شد. متوسط بارندگی سالیانه شهرستان کرمانشاه ۴۵۵ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه منطقه به ترتیب، ۴۰/۸ و ۸/۲-درجه سانتی‌گراد است. برای انجام این تحقیق، کل دهستان‌های شهرستان کرمانشاه به عنوان جامعه آماری در نظر گرفته شد. در سال اجرای تحقیق سطح زیر کشت محصولات کشاورزی شهرستان کرمانشاه حدود ۲۷۱ هزار هکتار بود که به‌ترتیب حدود ۸۷ و ۳۶ هزار هکتار از آن به تولید گندم و نخود دیم اختصاص داشت (Anonymous, 2022). تعداد کل کشاورزانی که اقدام به کشت گندم و نخود کرده بودند به‌ترتیب ۱۷۰۴۹ و ۷۷۹۰ نفر بودند که با بهره‌گیری از معادله کوکران (معادله ۱)، ۶۰۰ کشاورز (به‌ترتیب، ۲۵۰ بهره‌بردار برای گندم و نخود دیم رایج و ۲۵ بهره‌بردار برای گندم دیم کم‌خاک‌ورزی، گندم دیم بی‌خاک‌ورزی، نخود دیم کم‌خاک‌ورزی و نخود دیم بی‌خاک‌ورزی) به عنوان نمونه از کل جامعه آماری هدف انتخاب شدند (Snedecor & Cochran, 1989).

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

در این معادله، s پیش‌برآورد انحراف معیار جامعه، مقدار t برابر ۱/۹۶ (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) و d دقت احتمالی مطلوب بود که ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. همچنین N، تعداد کل جمعیت آماری و n تعداد نمونه است. پس از تعیین تعداد نمونه‌ها اطلاعات مدنظر در قالب پرسشنامه از طریق مصاحبه حضوری با کشاورزان و کارشناسان بخش کشاورزی جمع‌آوری گردید. قبل از جمع‌آوری اطلاعات، ابتدا کشاورزان گندم کار و نخود کار مشخص شدند و سپس بسته به نوع ادواتی که به منظور عملیات خاک‌ورزی بکار رفته بود، سه گروه خاک‌ورزی رایج، کم‌خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی مشخص گردید. برای محاسبه میزان انرژی‌های ورودی و خروجی، از کاشت تا مرحله‌ی برداشت تمام اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری گردید.

محاسبه انرژی‌های ورودی

انرژی‌های ورودی شامل نیروی انسانی بود که اندازه‌گیری آن بر حسب مگاژول در هکتار، با محاسبه کل ساعاتی که نیروی انسانی مشغول به انجام کلیه‌ی فعالیت‌های کشاورزی بود برآورد گردید. هر ساعت کار نیروی انسانی معادل با ۱/۹۶ مگاژول انرژی است (Ozkan *et al*., 2004). برای محاسبه انرژی ماشین‌آلات کل انرژی مصرفی در این بخش شامل مراحل تولید، تعمیر و همچنین استهلاک با نظر به وزن و ساعات کارکرد ادوات با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Hatirli *et al*., 2005):

$$ME=\frac{G.E}{T.Ca}$$ معادله (۲)

در اینجا ME، انرژی ماشین‌آلات برحسب مگاژول بر هکتار، G، جرم ماشین برحسب کیلوگرم، E، عدد ثابت که برابر است با ۱۵۸/۳ است، T، عمر مفید ماشین برحسب ساعت که ۷۲۰۰ ساعت در نظر گرفته شد و Ca، ظرفیت موثر ادوات در مزرعه است که بر حسب هکتار بر ساعت بیان می‌شود و از معادله ۳ محاسبه می‌گردد:

$$Ca=\frac{s.w.Ef}{100}$$ معادله (۳)

در اینجا S، سرعت ماشین‌آلات که بطور میانگین ۸/۵ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شد، W، عرض کار ماشین‌آلات که بطور میانگین ۱/۳ متر در نظر گرفته شد و Ef، راندمان کارکرد ماشین‌آلات است. برای به‌دست آوردن انرژی سوخت‌های فسیلی، کل سوخت مصرفی ماشین‌ها و تجهیزات به کار گرفته شده در تمامی مراحل تولید

محصول، از طریق معادله ۴ محاسبه گردید (Chamsing *et al*., 2006):

معادله (۴) $E_p=Qi\times Ei$

در اینجا Ep، انرژی سوخت فسیلی بر حسب مگاژول بر هکتار، Qi، مقدار سوخت فسیلی مصرف شده بر حسب لیتر بر هکتار و Ei، انرژی معادل هر واحد سوخت بر حسب مگاژول بر لیتر است. از دیگر منابع مصرف آفت‌کش‌ها هستند که علاوه بر مصرف انرژی آثار زیانباری بر سلامت انسان و محیط زیست دارند. آفت کش‌ها شامل قارچ‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها می‌شوند. برای به‌دست آوردن میزان مصرف انرژی در این بخش از معادله ۵ استفاده شد (Raee Jadidi *et al*., 2010).

معادله (۵) $E_p = W_p \times E_i$

در آن اینجا E_p، انرژی ترکیب شیمیایی استفاده شده بر حسب مگاژول در هکتار، W_p، مقدار ترکیب شیمیایی مصرف شده در هکتار و همچنین Ei، انرژی موجود در هر لیتر ترکیب شیمیایی بر حسب مگاژول است. برای به‌دست آوردن میزان انرژی بذر مصرفی، میانگین بذر مورد استفاده در هر هکتار بر حسب کیلوگرم محاسبه و به واسطه ضریب تبدیل انرژی، به هم ارز آن تبدیل می‌گردد. ضریب تبدیل انرژی برای بذر گندم ۱۴/۷ مگاژول بر کیلوگرم و برای بذر نخود ۱۴/۷ مگاژول بر کیلوگرم است (Yaldiz *et al*., 1993). از دیگر منابع مصرف انرژی طی فرایند تولید گندم کودهای شیمیایی بود که سهم زیادی از انرژی‌های ورودی را به خود اختصاص می‌دهند. کودهای شیمیایی مصرف شده شامل ترکیبات نیتروژنه، فسفره و پتاسه بود که به‌ترتیب معادل انرژی آنها ۶۶/۱۴، ۱۲/۴۴ و ۱۱/۱۵ مگاژول بر کیلوگرم در نظر گرفته شد (Yilmaz *et al*., 2005; Esengun *et al*., 2007).

محاسبه انرژی‌های خروجی

در سیستم‌های تولید محصولات زراعی انرژی خروجی شامل انرژی حاصل از تولید دانه و انرژی حاصل از تولید کاه و کلش است. برای به‌دست آوردن انرژی حاصل از تولید دانه، میانگین عملکرد دانه در سطح مزرعه محاسبه شد و سپس انرژی هر کیلوگرم دانه تولیدی معادل ۱۴/۷ مگاژول بر کیلوگرم در نظر گرفته شد (Ozkan *et al*, 2004; Mandal *et al*., 2002). همچنین پس از برداشت محصول، میانگین عملکرد کاه وکلش در هر هکتار محاسبه شد و میزان انرژی آن معادل ۱۲/۵ مگاژول بر کیلوگرم در نظر گرفته شد (Ozkan *et al*., 2004; Yousefi *et al*., 2014). پس از محاسبه انرژی‌های ورودی و خروجی در سیستم‌های تولید گندم و نخود دیم، شاخص‌های کارآیی انرژی (ER)، بهره‌وری انرژی (EP) بر حسب کیلوگرم بر مگاژول و انرژی خالص (NEY) بر حسب مگاژول در هکتار از طریق روابط ۷ تا ۹ به‌دست آمد (Rezvantalab *et al*., 2018).

معادله (۷) $ER=EO/EI$

معادله (۸) $EP=GY/EI$

معادله (۹) $NEY=EO-EI$

در این معادلات EO، مجموع انرژی‌های خروجی از مزرعه بر حسب مگاژول در هکتار، EI، مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه بر مگاژول در هکتار و GY، عملکرد دانه بر حسب تن در هکتار است. سپس براساس نوع فعالیت‌های زراعی و نهاده‌های ورودی سهم انرژی‌های جدید شونده و غیر تجدید شونده از انرژی کل مصرفی محاسبه شد. انرژی‌های نیروی کارگری و بذر به‌عنوان انرژی‌های تجدیدپذیر و انرژی‌های سوخت، کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و ماشین‌آلات به‌عنوان انرژی‌های تجدیدناپذیر در نظر گرفته شدند (Feiz Rezvantalab *et al*., 2018 .Bakhsh *et al*., 2019).

پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)

مجموع گازهای گلخانه‌ای تولید شده را که به صورت معادل CO_2 بیان می‌شود، پتانسیل گرمایش جهانی می‌نامند (IPCC, 1996). برای محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی، تولید گازهای گلخانه‌ای CO_2، N_2O و CH_4 که ناشی از مصرف انرژی در عملیات مختلفی همچون حمل و نقل، نگهداری ادوات کشاورزی، مصرف کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و بطورکلی تمام نهاده‌های مصرفی در فرآیند تولید بود، در نظر گرفته شد (جدول ۱).

جدول ۱- مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای (بر حسب گرم) به ازای مصرف نهاده‌های شیمیایی و پتانسیل گرمایشی

نهاده‌های ورودی	CO_2	N_2O	CH_4	منبع
سوخت فسیلی (لیتر در هکتار)	۳۵۶۰	۰/۷	۵/۲	Kramer *et al*., 1999
کودهای نیتروژنه (کیلوگرم در هکتار)	۳۱۰۰	۰/۰۳	۳/۳۷	Snyder *et al*., 2009
کودهای فسفاته (کیلوگرم در هکتار)	۱۰۰۰	۰/۰۲	۱/۸	Snyder *et al*., 2009
کودهای پتاسه (کیلوگرم در هکتار)	۷۰۰	۰/۱	۱	Snyder *et al*., 2009
پتانسیل گرمایشی	۱	۳۱۰	۲۱	Tzilivakis *et al*., 2005

تجزیه‌های آماری

میزان مصرف نهاده‌ها و اطلاعات جامع در کلیه مراحل عملیات زراعی جمع‌آوری و ثبت گردید سپس توسط نرم-افزار اکسل، پردازش داده‌ها صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها در سه بخش صورت گرفت که شامل: انرژی‌های ورودی (مصرفی)، انرژی خروجی (تولیدی) و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بود و دو محصول از این جهات با هم مقایسه شدند.

نتایج و بحث

انرژی‌های ورودی و خروجی

نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی در کشت گندم رایج، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به‌ترتیب، ۱۳۸۴۴، ۹۷۱۷ و ۸۹۳۹ مگاژول در هکتار بود (جدول ۲). در سیستم تولید گندم رایج به‌ترتیب بیش‌ترین سهم انرژی‌های مصرفی مربوط به سوخت فسیلی (۳۷/۴ درصد)، کود نیتروژن (۲۶/۷ درصد) و بذر (۱۹/۴ درصد) بود. اما در سیستم‌های تولید گندم کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به‌ترتیب بیش-ترین سهم انرژی‌های مصرفی متعلق به کود نیتروژن، بذر مصرفی و سوخت فسیلی بود (جدول ۲). میزان کل انرژی ورودی در سیستم‌های تولید نخود رایج، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به‌ترتیب حدود ۷۰۰۹، ۵۲۵۶ و ۴۴۷۰ مگاژول در هکتار بود (جدول ۳). در سیستم تولید نخود رایج بیش‌ترین سهم مصرف‌های انرژی‌های مصرفی مربوط به سوخت فسیلی (۶۶/۳ درصد)، ماشین آلات (۱۱/۵ درصد) و بذر (۱۱/۲ درصد) بود، درحالی که در سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی بیشترین سهم مصرف انرژی به‌ترتیب مربوط به سوخت فسیلی، بذر و ماشین‌آلات بود. به‌نظر می‌رسد بالاتر بودن سهم میزان مصرف سوخت فسیلی در سیستم تولید گندم رایج در مقایسه با دیگر سیستم‌های مورد بررسی به علت تردد بیشتر ماشین‌آلات در مزرعه به منظور اجرای عملیات تهیه بستر باشد. در مطالعه‌ای دیگر نیز مصرف بیش‌تر انرژی سوخت فسیلی در سیستم خاک‌ورزی رایج را به علت انجام عملیات تهیه بستر گزارش کردند (Rajabi *et al*., 2012). محققین دیگر نیز گزارش کردند که بیش‌ترین انرژی ورودی مستقیم در مزارع گندم مربوط به سوخت فسیلی مصرف شده در عملیات تهیه بستر بود (Canakci *et al*., 2005). به نظر می‌رسد با توسعه مکانیزاسیون کشاورزی، استفاده از انرژی ماشینی (سوخت فسیلی) در تأمین انرژی مورد نیاز عملیات خاک‌ورزی افزایش یافته و سهم نیروی کار انسانی کاهش یافته است. در تحقیقی دیگر گزارش شد که بیش‌ترین انرژی مصرفی به‌ترتیب در دو سیستم خاک‌ورزی رایج و بی‌خاک‌ورزی گندم دیم مربوط به کود نیتروژن (۸۵۲۹ و ۷۲۲۰ مگاژول در هکتار) و بذر (۴۳۶۷ و ۲۴۱۲ مگاژول در هکتار) بود (Kazemi *et al*, 2016). کل انرژی خروجی در سیستم تولید گندم رایج حدود ۴۴۶۶۲ مگاژول در هکتار بود که سهم تولید دانه و کاه به‌ترتیب، ۵۹/۵ و ۴۰/۵ درصد بود (جدول ۲). میزان کل انرژی خروجی در سیستم تولید گندم کم‌خاک‌ورزی حدود ۴۷۷۰۵ مگاژول در هکتار محاسبه شد که از این میزان سهم دانه و کاه به‌ترتیب، ۵۹/۶ و ۴۰/۴ درصد بود. همچنین نتایج نشان داد که در سیستم تولید گندم بی‌خاک‌ورزی کل انرژی خروجی حدود ۴۴۲۳۶ مگاژول در هکتار به‌دست آمد و سهم تولید دانه و کاه نیز به‌ترتیب، ۵۸/۸ و ۴۱/۲ درصد بود (جدول ۲). نتایج این بررسی همچنین نشان داد که کل انرژی خروجی در سیستم تولید نخود رایج، کم خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به‌ترتیب، ۱۸۶۱۱، ۱۴۹۹۱ و ۱۷۴۹۳ مگاژول در هکتار بود (جدول ۳). سهم تولید دانه و کاه در سیستم تولید نخود رایج، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به‌ترتیب (۵۶/۹۱ و ۴۳/۱ درصد)، (۶۰/۱، ۳۹/۹ درصد) و (۶۲/۶، ۳۷/۴ درصد) بود (جدول ۳).

جدول ۲- نقش سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بر میزان انرژی‌های ورودی و خروجی در سیستم تولید گندم دیم

ورودی‌ها	رایج				کم‌خاک‌ورزی				بی‌خاک‌ورزی			
	مقدار	معادل انرژی (مگاژول)	معادل کل انرژی (مگاژول)	درصد از کل	مقدار	معادل انرژی (مگاژول)	معادل کل انرژی (مگاژول)	درصد از کل	مقدار	معادل انرژی (مگاژول)	معادل کل انرژی (مگاژول)	درصد از کل
نیروی انسانی (ساعت)	۱۱۶/۲	۱/۹۶	۲۲۷/۹	۱/۶۵	۷/٤	۱/۹۶	۱۴/۵	۰/۱۵	٦/٥	۱/۹۶	۱۲/۸	۰/۱۵
ماشین آلات (ساعت)	۱۴/۳	۶۲/۷	۹۰۱/۶	٦/٥١	٦/۳	۶۲/۷	۳۹۸/۷	٤/۰۷	٥/٥	۶۲/۷	۳۴۶/۱	۳/۹۸
سوخت فسیلی (لیتر)	۱۰۰/۸	۵۱/۳۳	۵۱۷۸/۶	۳۷/۴	۳۸/۴	۵۱/۳۳	۱۹۷۱/۱	۲۰/۲۹	۲۶/۱	۵۱/۳۳	۱۳۳۹/۷	۱۵/۴۵
کود نیتروژن (کیلوگرم)	۵۶	۶۶/۱۴	۳۷۰۴/۵	۲۶/۷۶	۵۵/۷	۶۶/۱۴	۳۶۸۳/۸	۳۷/۹۱	۴۹/۶	۶۶/۱۴	۳۲۸۵/۸	۳۷/۸۳
کود فسفات (کیلوگرم)	۵۲/۵	۱۲/٤٤	۶۵۳/۵	٤/۷۲	۴۲	۱۲/٤٤	۵۲۲/۴	٥/۳۸	۴۳/۳	۱۲/٤٤	۵۳۹/۲	٦/۲۱
کود پتاس (کیلوگرم)	۲۴/۳	۱۱/۱٥	۲۷۱/۱	۱/۹۶	۲۱/۲	۱۱/۱٥	۲۳۶/۹	۲/٤۳	۲۱/۶	۱۱/۱٥	۲۴۱/۵	۲/۷۸
علفکش (کیلوگرم و لیتر)	۰/۸۱	۱۰۱/۲	۸۱/۹	۰/۵۹	۰/۷۴	۱۰۱/۲	۷۴/۸	۰/۷۷	۰/۷۴	۱۰۱/۲	۷۴/۸	۰/۸۶
حشره‌کش (کیلوگرم و لیتر)	۰/۵	۱۹۹	۹۹/۵	۰/۷۲	۰/۳۹	۱۹۹	۷۷/۶	۰/۸	۰/۴۱	۱۹۹	۸۱/۵	۰/۹۴
قارچ‌کش (کیلوگرم)	۰/۲۶	۱۲۰	۳۱/۲	۰/۲۳	۰/۳	۱۲۰	۳۶	۰/۳۷	۰/۲۵	۱۲۰	۳۰	۰/۳۵
بذر (کیلوگرم)	۱۸۳/۳	۱۴/۷	۲۶۹۴/۵	۱۹/۴۶	۱۸۴	۱۴/۷	۲۷۰۵/۳	۲۷/۸۴	۱۸۵/۵	۱۴/۷	۲۷۲۸	۳۱/۴۵
کل			۱۳۸۴۴/۷	۱۰۰			۹۷۱۶/۷	۱۰۰			۸۶۷۰/۷	۱۰۰
خروجی‌ها												
دانه (کیلوگرم)	۱۸۰۶/۶	۱٤/۷	۲۶۵۵۷/۱	۵۹/۴۶	۱۹۳۳/۳	۱۴/۷	۲۸۴۱۹/۹	۵۹/۶	۱۷۶۸/۹	۱۴/۷	۲۶۰۰۳/۷	۵۸/۷۸
کاه (کیلوگرم)	۱۴۴۸/۴	۱۲/٥	۱۸۱۰۵/۲	۴۰/۵۴	۱۵۴۲/۸	۱۲/٥	۱۹۲۸۵/۶	۴۰/۴	۱۴۵۸/۶	۱۲/٥	۱۸۲۳۲/۷	۴۱/۲۲
کل			۴۴۶۶۲/۲	۱۰۰			۴۷۷۰۵/۵	۱۰۰			۴۴۲۳۶/۴	۱۰۰

جدول ۳- نقش سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بر میزان انرژی‌های ورودی و خروجی در سیستم تولید نخود دیم

ورودی‌ها	رایج				کم‌خاک‌ورزی				بی‌خاک‌ورزی			
	مقدار	معادل انرژی (مگاژول)	معادل کل انرژی (مگاژول)	درصد از کل	مقدار	معادل انرژی (مگاژول)	معادل کل انرژی (مگاژول)	درصد از کل	مقدار	معادل انرژی (مگاژول)	معادل کل انرژی (مگاژول)	درصد از کل
نیروی انسانی (ساعت)	۲۰۶/۱	۳۵۰۶۵	۴۰۴/۱	۲۸۲۴۶	۱۶۵/۵	۱/۹۶	۳۲۴/۴	۶/۱۷	۱۲۸/۹	۱/۹۶	۲۵۲/۷	۵/۵۶
ماشین آلات (ساعت)	۴۵۶۳۵	۶۲/۷	۸۰۸/۲	۱۹۶۶۴	۴۵۵۴۴	۶۲/۷	۶۲۵/۷	۴۵۶/۵	۱۹۹۰۶	۶۲/۷	۴۷۲/۷	۲۱۴۵۹
سوخت فسیلی (لیتر)	۹۰/۷	۵۱/۳۳	۴۶۵۶/۶	۶۶/۴۳	۶۳/۳	۵۱/۳۳	۳۲۵۰/۷	۶۱/۸۴	۵۰	۵۱/۳۳	۲۵۷۰	۵۷/۵
کود نیتروژنه (کیلوگرم)	۰	۶۶/۱۴	۰	۰	۰	۶۶/۱۴	۰	۰	۰	۶۶/۱۴	۰	۰
کود فسفاته (کیلوگرم)	۰	۱۶۴۰۷	۰	۰	۰	۱۶۴۰۷	۰	۰	۰	۱۶۴۰۷	۰	۰
کود پتاسه (کیلوگرم)	۰	۴۵۶۱۱	۰	۰	۰	۴۵۶۱۱	۰	۰	۰	۴۵۶۱۱	۰	۰
علفکش (کیلوگرم و لیتر)	۳۵۷۹۶	۱۰۱/۲	۲۰۰/۳	۳۱۴۴۴	۴۵۲۹۴	۱۰۱/۲	۱۳۳/۵	۱۹۷۵۶	۱۲۰۵۵	۱۰۱/۲	۱۳۴/۵	۳
حشره‌کش (کیلوگرم و لیتر)	۰/۶۲	۱۹۹	۱۲۳/۳	۲۷۳۹۵	۰/۵	۱۹۹	۹۹/۵	۳۳۲۳۹	۰/۵	۱۹۹	۹۹/۵	۴۵۳۴۵
قارچ‌کش (کیلوگرم)	۰/۲۸	۱۲۰	۳۳/۶	۰/۴۸	۰/۲۵	۱۲۰	۳۰	۰/۵۷	۰/۲۵	۱۲۰	۳۰	۰/۶۷
بذر (کیلوگرم)	۵۳/۲	۱۴/۷	۷۸۳/۳	۴۵۶۱۴	۵۳/۹	۱۴/۷	۷۹۲/۳	۱۵/۰۷	۶۱/۹	۱۴/۷	۹۱۰/۳	۲۰/۳۷
کل			۷۰۰۹/۶	۱۰۰			۵۲۵۶/۴	۱۰۰			۴۴۷۰	۱۰۰
خروجی‌ها												
دانه (کیلوگرم)	۷۲۱	۱۴/۷	۱۰۵۹۸/۷	۵۶/۹۵	۶۱۲/۸	۱۴/۷	۹۰۰۸/۸	۶۰/۱	۷۴۵	۱۴/۷	۱۰۹۵۱/۵	۶۲/۶
کاه (کیلوگرم)	۶۴۱	۴۵۶۳۱	۸۰۱۲/۵	۴۳/۰۵	۴۷۸/۵	۴۵۶۳۱	۵۹۸۲/۱	۳۹/۹	۵۲۳/۳	۴۵۶۳۱	۶۵۴۱/۶	۳۷/۴
کل			۱۸۶۱۱/۲	۱۰۰			۱۴۹۹۱/۲	۱۰۰			۱۷۴۹۳/۱	۱۰۰

شاخص‌های انرژی

نتایج این بررسی نشان داد که صرفنظر از نوع خاک‌ورزی، کارایی مصرف انرژی در سیستم تولید گندم بالاتر از سیستم تولید نخود بود (جدول ۴). با تغییر سیستم‌های خاک‌ورزی کارایی مصرف انرژی نیز تغییر کرد. در سیستم تولید گندم بالاترین کارایی مصرف انرژی در شرایط بی‌خاک‌ورزی به میزان ۵/۱۱ و کمترین آن در شرایط خاک‌ورزی رایج به میزان ۳/۲۰ مشاهده شد. بالاترین و پایین‌ترین کارایی مصرف انرژی در سیستم تولید نخود نیز به‌ترتیب به شرایط بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی رایج متعلق بود (جدول ۴).

انتشار گاز گلخانه‌ای

نتایج نشان داد که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم خاک‌ورزی رایج در مقایسه با کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی گندم و نخود دیم بالاتر بود (جدول ۵ و ۶). صرفنظر از نوع سیستم خاک‌ورزی، در مزارع گندم دیم بیشترین منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به مصرف سوخت فسیلی و کودهای نیتروژنه بود، در حالی که در مزارع نخود دیم تنها منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای مصرف سوخت فسیلی بود (جدول ۵ و ۶). در بین گازهای گلخانه‌ای سهم انتشار CO2 از گازهای CH4 و N2O بسیار بیشتر بود.

جدول ۴- اثر سیستم‌های خاک‌ورزی مختلف بر شاخص‌های انرژی در سیستم‌های تولید گندم و نخود دیم

شاخص‌های انرژی	واحد	گندم			نخود		
		رایج	کم‌خاک‌ورزی	بی‌خاک‌ورزی	رایج	کم‌خاک‌ورزی	بی‌خاک‌ورزی
کل انرژی ورودی	مگاژول در هکتار	۱۳۸۴۴/۷	۹۷۱۶/۷	۸۶۷۰/۷	۷۰۰۹/۶	۵۲۵۶/۴	۴۴۷۰
کل انرژی خروجی	مگاژول در هکتار	۴۴۶۶۲/۲	۴۷۷۰۵/۵	۴۴۲۳۶/۴	۱۸۶۱۱/۲	۱۴۹۹۱	۱۷۴۹۳/۱
کارایی مصرف انرژی	-	۴۵۳۵۳	۴۵۳۹۱	۴۵۴۲۳	۲۳۷۷۴	۳۱۰۷۹	۴۵۳۶۰
بهره‌وری انرژی	کیلوگرم بر مگاژول	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۲	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱۶
انرژی خالص	مگاژول در هکتار	۳۰۸۱۷/۵	۳۷۹۸۸/۸	۳۵۵۶۵/۷	۱۱۶۰۱/۵	۹۷۳۴/۶	۱۳۰۲۳
انرژی تجدید پذیر	مگاژول در هکتار	۲۹۲۲/۴	۲۷۱۹/۹	۲۷۴۰/۸	۱۱۸۷/۴	۱۱۱۶/۸	۱۱۶۳/۱
انرژی تجدید ناپذیر	مگاژول در هکتار	۱۰۹۲۲/۲	۷۰۰۱/۳	۵۹۳۸/۶	۵۸۲۲/۲	۴۱۳۹/۶۱	۳۳۰۶/۹

جدول ۵- اثر خاک‌ورزی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم در هکتار) و پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در هکتار) در سیستم تولید گندم دیم

نهاده‌های مصرفی	رایج				کم خاک‌ورزی				بی‌خاک‌ورزی			
	CO_2	N_2O	CH_4	GWP	CO_2	N_2O	CH_4	GWP	CO_2	N_2O	CH_4	GWP
سوخت فسیلی	۱۱۰/۹	۰/۰۲۱	۰/۱۳۳	۱۱۱/۱	۱۲۶/۱	۰/۰۲۴	۰/۱۸۴	۱۲۶/۳	۳۵۹/۲	۰/۰۷	۰/۵۲۴	۳۵۹/۸
کودهای نیتروژنه	۱۵۴	۰/۲	۰/۱۶۷	۱۵۴/۲	۱۶۰/۵	۰/۲	۰/۱۷۴	۱۶۰/۷	۱۷۳/۶	۰/۳۲	۰/۱۸۸	۱۷۳/۸
کودهای فسفاته	۴۳/۴	۰/۰۰۱	۰/۰۷۸	۴۳/۵	۴۲	۰/۰۰۱	۰/۰۷۵	۴۲/۱	۵۲/۵	۰/۰۰۱	۰/۰۹۴	۵۲/۶
کودهای پتاسه	۱۵/۲	۰/۰۰۲	۰/۰۲۲	۱۵/۲	۱۴/۹	۰/۰۰۲	۰/۰۲۱	۱۴/۹	۱۷/۱	۰/۰۰۲	۰/۰۲۴	۱۷/۲
کل	۳۲۳/۵	۰/۲۲۴	۰/۴	۳۲۴/۱	۳۴۳/۵	۰/۲۲۷	۰/۴۵۴	۳۴۴/۲	۶۰۲/۴	۰/۳۹	۰/۸۳	۶۰۳/۶

جدول ۶- اثر خاک‌ورزی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم در هکتار) و پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در هکتار) در سیستم تولید نخود دیم

نهاده‌های مصرفی	رایج				کم‌خاک‌ورزی				بی‌خاک‌ورزی			
	CO_2	N_2O	CH_4	GWP	CO_2	N_2O	CH_4	GWP	CO_2	N_2O	CH_4	GWP
سوخت فسیلی	۳۲۳	۰/۰۶۳	۰/۴۷۱	۳۲۳/۵	۲۲۵/۴	۰/۰۴۴	۰/۳۲۹	۲۲۵/۸	۱۷۸/۲	۰/۰۳۵	۰/۲۶	۱۷۸/۵
کل	۳۲۳	۰/۰۶۳	۰/۴۷۱	۳۲۳/۵	۲۲۵/۴	۰/۰۴۴	۰/۳۲۹	۲۲۵/۸	۱۷۸/۲	۰/۰۳۵	۰/۲۶	۱۷۸/۵

میزان پتانسیل گرمایش جهانی در بین سیستم‌های خاک‌ورزی متفاوت بود (جدول ۵ و ۶). بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی به میزان ۶۰۳/۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار در سیستم خاک‌ورزی رایج گندم مشاهده شد، درحالی‌که پتانسیل گرمایش جهانی برای سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی گندم دیم به‌ترتیب، ۳۴۴/۲ و ۳۲۴/۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار بود. در سیستم خاک‌ورزی رایج گندم دیم سهم سوخت فسیلی، کودهای نیتروژنه، فسفاته و پتاسه در ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی به‌ترتیب ۵۹/۶، ۲۸/۸، ۸/۷ و ۲/۹ درصد بود. سهم سوخت فسیلی، کودهای نیتروژنه، فسفاته و پتاسه در ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی در سیستم کم‌خاک‌ورزی گندم دیم به‌ترتیب، ۳۶/۷، ۴۶/۷، ۱۲/۲ و ۴/۳ درصد بود. همچنین در سیستم بی‌خاک‌ورزی گندم دیم سهم سوخت فسیلی، کودهای نیتروژنه، فسفاته و پتاسه در ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی به‌ترتیب، ۳۴/۳، ۴۷/۶، ۱۳/۴ و ۴/۷ درصد بود. نتایج همچنین نشان داد که بیشترین سهم در بین نهاده‌های مصرفی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی در سیستم خاک‌ورزی رایج گندم دیم مربوط به مصرف سوخت فسیلی بود، اما در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی مصرف کود نیتروژن مهمترین منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای و ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد این موضوع به علت تردد کمتر ماشین‌آلات کشاورزی در مزارع گندم رایج به ویژه در زمان عملیات تهیه بستر بذر باشد. در بین کودهای شیمیایی مصرف شده در مزارع گندم، کود نیتروژن بیشترین تأثیر را بر پتانسیل گرمایش جهانی داشت (جدول ۵). میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن به علت مصرف کود نیتروژن در سیستم خاک‌ورزی رایج در مقایسه با کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به‌ترتیب، ۸/۲ و ۱۲/۷ درصد بیشتر بود. در آزمایشی دیگر میزان گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده در تولید گندم و پنبه در سیستم‌های خاک‌ورزی رایج، کم-خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به‌ترتیب معادل ۵۱۸۲۹، ۵۱۶۰۸ و ۵۱۵۲۹ کیلوگرم گاز کربن دی اکسید در هکتار به‌دست آمد (Afzalinia, 2020). محققین دیگر نیز اظهار داشتند که روش‌های خاک‌ورزی بر مصرف انرژی اثر معنی-دار داشت و خاک‌ورزی رایج بیش‌ترین مصرف انرژی را و انتشار گازهای گلخانه‌ای را در مزارع گندم آبی داشت (Afzalinia *et al*., 2021).

نتایج نشان داد که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط استفاده از کود نیتروژن بالاتر از دیگر نهاده‌های شیمیایی بود. این به دلیل ضریب انتشار بالاتر نیتروژن (۱/۳ کیلوگرم CO_2 به ازای مصرف هر کیلوگرم کود نیتروژن) نسبت به فسفر، پتاسیم می‌باشد (Lal, 2004). لازم به ذکر است که این ضریب انتشار برای کود نیتروژن بیش‌تر مربوط به فرآیند تثبیت و تولید نیتروژن در کارخانه می‌باشد (Snyder *et al*, 2009). زیرا فرآیند تثبیت نیتروژن بسیار هزینه بر بوده و برای تولید این نهاده شیمیایی بطور مستقیم از سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منبع انرژی کارخانه استفاده می‌شود. بنابراین با افزایش مصرف کود شیمیایی نیتروژن، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد. در بررسی دیگری گزارش شد که کود شیمیایی نیتروژن یکی از مهم-ترین نهاده‌های منتشر کننده گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی بود (Nikkhah *et al*, 2014). تحقیقات نشان داده است که تعداد و زمان انجام عملیات خاک‌ورزی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای موثر است، به گونه‌ای که عملیات خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (Pandey *et al*, 2013). در کشت گندم و نخود رایج نسبت به سایر روش-های خاک‌ورزی، بیش‌ترین میزان انتشار گاز گلخانه‌ای متان مشاهده شد که ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی بود. در کشت گندم بدون خاک‌ورزی بیش‌ترین عامل انتشار گاز متان، مصرف کودهای نیتروژنه بود (جدول ۵). در تحقیقی دیگر مشخص شد که میزان تصاعد گازهای گلخانه‌ای در اثر کاربرد کود نیتروژن در زراعت غلات بیشتر از سایر نهاده‌ها بود (Pourghasemian & Moradi, 2017). در همین رابطه این محققان در پژوهشی دیگر که روی محصولات باغی انجام دادند عنوان کردند که میزان تولید و تصاعد گازهای گلخانه‌ای در اثر کاربرد کود نیتروژن از دیگر نهاده‌ها بیشتر بود، به گونه‌ای که در بین‌نهاده‌های بررسی شده سهم مصرف کود نیتروژن حدود ۹۱ درصد بود که بطور معنی‌داری در پتانسیل گرمایش جهانی موثر بود (Pourghasemian & Moradi, 2017). نتایج این بررسی همچنین نشان داد که صرفنظر از سیستم‌های خاک‌ورزی پتانسیل گرمایش جهانی در مزارع گندم بیشتر از نخود بود (جداول ۵ و ۶). همچنین سیستم خاک‌ورزی رایج در مقایسه با دیگر سیستم‌ها از پتانسیل گرمایش جهانی بالاتری برخوردار بود. بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی در

کشت گندم رایج و کم‌ترین آن در کشت بی‌خاک‌ورزی نخود بود. کشت گندم رایج به‌ترتیب باعث افزایش ۴۳ و ۴۷ درصدی نسبت به کشت گندم کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی شد و کشت نخود رایج نیز به‌ترتیب باعث افزایش پتانسیل گرمایش جهانی ۳۰ و ۴۵ درصدی نسبت به کشت کم‌خاک‌ورزی کم و بی‌خاک‌ورزی نخود شد. مصرف بالاتر نهاده‌های تولید در مزارع گندم در مقایسه با نخود دلیل اصلی این نتایج بود همچنین در سیستم خاک‌ورزی رایج اصلی‌ترین عامل پتانسل گرمایش جهانی مصرف سوخت فسیلی بود. انتشار گازهای گلخانه‌ای در هنگام عملیات‌های مختلف کشاورزی یا به صورت مستقیم از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی در طی مراحل کاشت تا برداشت و یا غیر مستقیم در زمان تولید و حمل و نقل ورودی‌های مورد نیاز مزرعه اصلی‌ترین عامل پتانسیل گرمایش جهانی محسوب می‌شوند. با پیشروی فعالیت‌های کشاورزی، انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان چالشی اساسی در مدیریت محیط زیست محسوب می‌شود و ماشین آلات کشاورزی و سوخت فسیلی مصرف شده توسط آنها به عنوان نهاده‌هایی که بیشترین سهم را در تصاعد گازهای گلخانه‌ای در تولید بادام زمینی دارند، گزارش شده است (Nikkhah *et al*, 2015). در بررسی دیگری نیز گزارش شده است که مدیریت مناسب خاک‌های مزارع اثر بسزایی در به حداقل رساندن گازهای گلخانه‌ای دارد و کاربرد تناوب زراعی صحیح، گیاهان پوششی، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی از روش‌های صحیح مدیریتی در جهت کم کردن تصاعد کربن‌دی اکسید از خاک معرفی شده‌اند (Mirzaei et al, 2022).

نتیجه گیری کلی

مدیریت انرژی به عنوان عاملی مهم در پایداری نظام تولید محصولات کشاورزی مطرح است که ثبات و پایداری اجتماعی و اقتصادی و زیست محیطی را به دنبال دارد. توازن بین نهاده‌های ورودی و خروجی برای دستیابی به یک تعادل در نظام‌های کشاورزی باید در نظر گرفته شود زیرا هرچه انرژی ورودی کاهش یابد، کارایی انرژی افزایش می‌یابد. از نظر کل انرژی ورودی در کشت گندم و نخود رایج، بیش‌ترین سهم مربوط به سوخت فسیلی بود. در-حالی‌که برای گندم در دو روش دیگر، بیش‌ترین سهم متعلق به کود نیتروژن بود. انرژی خروجی شامل عملکرد دانه و عملکرد کاه بود. به‌طور میانگین در مزارع گندم صرفنظر از سیستم‌های خاک‌ورزی سهم عملکرد دانه و کاه به‌ترتیب، ۵۹/۳ و ۴۰/۷ درصد و در مزارع نخود به‌ترتیب، ۶۰ و ۴۰ درصد بود. بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه و کاه مربوط به کشت کم‌خاک‌ورزی گندم بود. در سیستم کشت گندم و نخود رایج کارایی مصرف انرژی کمتر از سایر سیستم‌ها بود. بطور کلی مزارع گندم دیم نسبت به نخود دیم، کارایی مصرف انرژی بیش‌تری داشتند. از طرفی، انتشار گازهای گلخانه ای و پتانسیل گرمایش جهانی نیز در مزارع گندم بالاتر بود. در بین سیستم‌های کشت گندم و نخود، بیش‌ترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به کشت گندم رایج بود و کم‌ترین مقدار هم مربوط به کشت نخود بی‌خاک‌ورزی بود. پتانسیل گرمایش جهانی در کشت گندم رایج در مقایسه با کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به-ترتیب، ۴۳ و ۴۷ درصد بالاتر بود. پتانسیل گرمایش جهانی در کشت نخود رایج در مقایسه با کم‌خاک‌ورزی و بی-خاک‌ورزی به‌ترتیب، ۳۰ و ۴۵ درصد بیشتر بود. کشت نخود به مراتب از پتانسیل گرمایش جهانی پائین‌تری نسبت به کشت گندم برخوردار بود. به طور میانگین کشت گندم ۴۱ درصد پتانسیل گرمایش جهانی بیشتری نسبت به کشت نخود، تولید داشت. با توجه به نتایج این تحقیق و با درنظر گرفتن پدیده تغییر اقلیم، کشت نخود در سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی می‌تواند منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای گردد و برای استان کرمانشاه توسعه هرچه بیشتر آن پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

از دانشگاه رازی کرمانشاه برای حمایت از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Afzaligorouh, H., Azadshahraki, F., & Shafie, L. (2021). Measurement of energy indices in corn production under different tillage systems. *Agricultural Mechanization and Systems Research, 22*(77), 51-68. (In Persian).

Afzalinia, S. (2020). Tillage effects on energy use and greenhouse gas emission in wheat-cotton rotation. *Iran Agricultural Research, 39*(1) 13-24.

Afzalinia, S., Zare, M., & Alavimanesh, S. M. (2021). Effect of conservation tillage and irrigation methods on energy use and greenhouse gas emissions during wheat production. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31*(4), 117-132. (In Persian).

Ahmadi, M., & Agha Alikhani, M. (2012). Energy use analysis of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) production in Golestan Province and a few strategies for increasing resources productivity. *Journal of Agroecology*, *4*(2), 151-158. (In Persian).

Baudron, F., Sims, B., Justice, S., Kahan, D. G., Rose, R., Mkomwa, S., & Gérard, B. (2015). Re-examining appropriate mechanization in Eastern and Southern Africa: two-wheel tractors, conservation agriculture, and private sector involvement. *Food Security*, *7*, 889-904.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., & Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energy conversion and Management, 46*(4), 655-666.

Chamsing, A., Salokhe, V. M., & Singh, G. (2006). Energy consumption analysis for selected crops in different regions of Thailand. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal*, *8*,1-18.

Esengun, K., Gunduz, O., & Erdal, G. (2007). Input-output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Conversion and Management*, *48* (2), 592-598.

Feiz Bakhsh, M. T., Dori, M. A., & Rezvan Talab, N. (2019). Evaluation of energy indices and its impact on global warming potential for potato production: a case study, Golestan province. *Journal of Agroecology*, *11*(1), 53-68. (In Persian).

Feyzbakhsh, M. T., & Alizadeh, P. (2018). Comparison of silage corn (*Zea mays* L.) and forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) productions in terms of energy consumption and global warming potential in Gorgan region. *Journal of Agroecology 10*(1), 218-233. (In Persian).

Hatirli, S. A., Ozkan, B., & Fert, C. (2005). An econometric analysis of energy input–output in Turkish agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *9*(6), 608-623.

IPCC. (1996). Intergovernmental Panel on Climate Change Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Cambridge University Press, UK. 438p.

Johnson, J. M. F., Franzluebbers, A. J, Weyers, S. L, & Reicosky, D. C. (2007). Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution, 150*(1), 107-24.

Kazemi, H., Alizadeh, P., & NehbandanI, A. (2016). Assessing energy flow in rainfed and irrigated wheat fields of Shahrekourd Township under two tillage systems. *Journal of Agroecology*, *8*(2), 281-295. (In Persian).

Keshavarzpour, F., Ajab Shirchi, Y., & Mismi, M. A. (2017). Determination of energy productivity and efficiency in different conservation tillage systems for the production of cotton fiber. *Iranian Journal of Cotton Researches, 5*(2), 109-125. (In Persian).

Kramer, K.J., Moll, H. C., & Nonhebel, S., (1999). Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *72*, 9-16.

Lin, B., & Xu, B. (2018). Factors affecting CO2 emissions in China's agriculture sector: A quantile regression. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 15-27.

Lorzadeh, S. H., Mahdavidamghani, A., Enayatgholizadeh, M. R., & Yousefi, M. (2011). Agrochemical input application and energy use efficiency of maize production systems in Dezful, Iran. *Journal of Scientific Research, 9* (2), 153-156.

Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K.M., Bandyopadhyay, K. K, (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass Bioenergy, 23*(5), 337–345.

Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran (MJA). (2022). Agricultural Jihad Organization of Kermanshah Province.

Mirzaei, M., Gorji, M., Moghiseh, E., Asadi, H., & Razavy-Toosi, E. (2022). Sustainable soil management and its role in mitigating greenhouse emissions. *Journal of Land Management, 9*(2). (In Persian)

Mondani, F., Aleagha, S., Khoramivafa, M., & Ghobadi, R. (2017). Evaluation of greenhouse gases emission based on energy consumption in wheat Agroecosystems. *Energy Reports*, *3*, 37-45.

Moradi, R., & Pour Ghasemian, N. (2017). Greenhouse gases emission and global warming potential as affected by chemicals inputs for main cultivated crops in Kerman province: I- *Cereal. Journal of Agroecology*, *9*(2), 389-405. (In Persian).

Nikkhah, A., Emadi, B., Khojastepour, M. & Payman, S. H. (2015). GHG emissions footprint from potential feedstock production of biodiesel fuel (case study). *Iranian Journal of Biosystems Engineering, 47*(2), 207-213. (In Persian).

Ozkan B., Akcaoz H., & Karadeniz F (2004). Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Conversion and Management, 45*(11-12),1821–1830.

Ozkan, B., & Akcaoz, H. (2002). Impacts of climate factors on yields for selected crops in the Southern Turkey. *Mitigation and Adaptation Strategy for Global Change*, *7*, 367-380.

Panahi, H., & Esmaeel Darjani, N. (2020). Effects of global warming and climate changes on economic growth (case study: Iran provinces during 2002-2012). *Journal of environmental science and technology, 22* (1). (In persian).

Pandey, D., Agrawal, M., & Bohra, J. S. (2013). Impact of four tillage permutations in rice-wheat system on GHG performance of wheat cultivation through carbon foot printing. *Ecological Engineering*, *60*, 261-270.

Pourghasemian, N., & Moradi, R. (2017). Greenhouse gases emission and global warming potential as affected by chemical inputs for main cultivated crops in Kerman province: II - horticultural crops. *Journal of Agroecology*, *9*(3), 689-704. (In Persian).

Raei Jadidi, M., Homayounifar, M., Sabuhi Sabuni, M., & Kheradmand, V. (2010). Determination of energy use efficiency and productivity in tomato production (case study from Marand region). *Journal of Agricultural Economics and Development*, *24*(3), 363-370. (In Persian).

Rajabi, M. H., Soltani, A., Zeinali, E., & Soltani, E. (2012). 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).

Rezvantalab, N., Soltani, A., Zeinali, E. & Foroughinia, A. (2018). Study of energy indicators and greenhouse gas emissions in wheat production in Golestan province. *Journal of Agroecology*, *9*(1), 17-38. (In Persian).

Snedecor, G. W. & Cochran, W.G. 1989. Statistical Methods, 8th Edition. Iowa State University Press. 502 p.

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*, *133*, 247-266.

Tzilivakis, J., Jaggard, K., Lewis, K. A., May, M., & Warner, D. J. (2005). Environmental impact and economic assessment for UK sugar beet production systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *107*, 341-358.

Yaldiz, O., Ozturk, H. H., Zeren, Y., & Bascetincelik, A. (1993). Energy usage in production of field crops in Turkey. In: 5th International Congress on Mechanisation and Energy Use in Agriculture. Turkey, October, 11-14.

Yilmaz, I., Akcaoz, H., & Ozkan, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turky. *Renewable Energy*, *30*(2), 145-155.

Yousefi, M., Khorramivafa, M., & Mondani, F. (2014). Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris*) agroecosystems in Iran. *Atmospheric Environment*, *92*, 501-505.

Zahedi, M., & Mondani, F., Eshghizadeh, H. R. (2015). Analyzing the energy balances of double-cropped cereals in an arid region. *Energy Reports*, *1*, 43-49.

Plant Production and Genetics **تولید و ژنتیک گیاهی**

Vol. 5, No. 2, Autumn & Winter 2024, p. 325-336 **جلد ۵، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، صفحه ۳۳۶-۳۲۵**

Research Article DOI: 10.22034/plant.2024.141703.1114

Effect of tillage on greenhouse gas emissions in dryland wheat *(Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum*) production systems under climatic conditions of Kermanshah region

Farzaneh Angazi [1], Farzad Mondani [*2], Mokhtar Ghobadi [2], Mohammad Yousefi [3]

1. MSc. student, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
3. Ph. D. graduated, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 10-07-2024
Accepted: 02-11-2024

Abstract

This research was conducted with the aim of investigating amount of energy consumption and greenhouse gas emissions in dryland wheat and chickpea tillage systems in Kermanshah region during 2022. The amount of consumed inputs was calculated based on agronomy operations from sowing to harvesting. The data analysis was calculated in three steps including energy input, energy output and global warming potential due to emission of greenhouse gases. Results showed total energy input in conventional, minimum and no tillage systems of wheat were 13845, 9717 and 8671 Mj ha-1, respectively, and for chickpea were 7009, 5256 and 4470 Mj ha-1, respectively. Energy use efficiency for conventional, minimum and no tillage systems of wheat were 3.2, 4.9 and 5.1, and for chickpea were 2.6, 2.8 and 3.9, respectively. The highest amount of global warming potential in wheat and chickpea farms in conventional tillage were 106.8 and 96.1 kg CO2 eq ha-1, respectively. In conventional wheat tillage amount of CO2 due to consumption of fossil fuels was about 184.9% more than minimum tillage and 223.8% more than no tillage. Due to consumption of fossil fuels, emission of CO2 in conventional tillage of chickpea compared to minimum tillage and no tillage were 43.2% and 81.2%, respectively. Regardless of crops, emission of N2O due to consumption of fossil fuels in conventional tillage were 43.2 and 80.0% higher than minimum and no tillage, respectively. Generally, the results showed conventional tillage had the lowest energy efficiency and the highest global warming potential compared to other studied systems.

Keywords: Renewable energy, direct energy, energy use efficiency, global warming

Citation: Angazi F., Mondani, F., Ghobadi, M., & Yousefi, M. (2024). Effect of tillage on greenhouse gas emissions in dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum*) production systems under climatic conditions of Kermanshah region. *Plant Production and Genetics*, *5*(2), 325-336.https://doi.org/ 10.22034/plant.2024.141703.1114

Copyrights:
Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

[*]Corresponding Author Email: f.mondani@razi.ac.ir