اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم

صادق افضلی نیا

بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران (sja925@mail.usask.ca).

چکیده

در این تحقیق، انرژی ورودی و خروجی، شاخص‌های انرژی، بهره‌وری مصرف آب و گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته در فرایند تولید گندم تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی تعیین شدند. تیمارهای خاک‌ورزی شامل خاک‌ورزی مرسوم (CT)، کم خاک‌ورزی (RT) و بی خاک‌ورزی (NT) بودند. نتایج نشان داد که کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم انرژی مصرفی در فرایند تولید گندم را به ترتیب ۱/۷۹ و ۱/۳۴ درصد کاهش می‌دهند که دلیل این امر مصرف کمتر سوخت و ماشین‌ها در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی هست. خاک‌ورزی مرسوم در مقایسه با روش‌های کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی دارای انرژی مصرفی، انرژی تولیدی، نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و بهره‌وری مصرف آب بیشتری بود. انرژی الکتریسیته برای پمپاژ آب آبیاری بیشترین سهم (۵۰ درصد) را از انرژی کل مصرفی در فرایند تولید گندم در تمام تیمارهای خاک‌ورزی داشت و کودهای شیمیایی در مرتبه دوم قرار گرفتند. بیش از ۶۰ و ۹۱ درصد از انرژی مصرفی در فرایند تولید گندم به ترتیب انرژی مستقیم و انرژی تجدید ناپذیر بود. روش بی خاک‌ورزی بیشترین انتشار گاز گلخانه‌ای را داشت و کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند و در تمام روش‌های خاک‌ورزی، الکتریسیته برای پمپاژ آب آبیاری بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشت. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی علیرغم کاهش انرژی مصرفی در تولید گندم، راندمان و بهره‌وری انرژی را افزایش نمی‌دهند و باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نمی‌شوند. بنابراین استفاده از روش‌های آبیاری باراندمان بالا در تولید گندم می‌تواند کاهش قابل‌توجهی در مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد.

کلمات کلیدی: *شاخص‌های انرژی، گرمایش زمین، خاک‌ورزی، بهره‌وری مصرف آب، گندم*

*نویسنده مسئول: sja925@mail.usask.ca

اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم

مقدمه

بنزین، گازوییل و برق منابع اصلی انرژی در کشاورزی می‌باشند [۷] که از میان آن‌ها، سوخت‌های فسیلی بیشترین سهم را از انرژی مصرفی در کشاورزی دارند [۲۲]. انرژی‌های مصرفی در کشاورزی به انرژی مستقیم یا غیرمستقیم و انرژی تجدید پذیر یا تجدید ناپذیر قابل دسته‌بندی هستند [۲۰]. وضعیت مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات کشاورزی باید به‌دقت سنجش و کنترل شوند تا خطرات زیست‌محیطی کاهش‌یافته و سرعت گرمایش زمین کندتر گردد. نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدی، شدت انرژی و بهره‌وری انرژی شاخص‌های مهمی هستند که برای بررسی تراز انرژی در تولید محصولات کشاورزی مورداستفاده قرار می‌گیرند.

مصرف و بهره‌وری انرژی در تولید گندم در تحقیقات زیادی بررسی‌شده است. یلدیز [۲۶] مقادیر ۲/۳۶، ۸/۹۶ مگاژول بر کیلوگرم، ۰/۱۱۲ کیلوگرم بر مگاژول و ۴۸۹۶۰/۲ مگاژول بر هکتار را به ترتیب برای نسبت، شدت، بهره‌وری و تولید انرژی خالص در تولید گندم در استان سمسان ترکیه گزارش نمود. انرژی مصرفی کل، نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی برای تولید گندم در استان اردبیل به ترتیب ۳۸/۳۶ گیگاژول بر هکتار، ۳/۱۳ و ۰/۱۶ کیلوگرم بر مگاژول گزارش شد که کود با ۳۸/۴۵ درصد بیشترین سهم را از انرژی مصرفی داشت [۲۳]. متوسط مصرف و تولید انرژی در فرایند تولید گندم در استان اصفهان به ترتیب ۸۰/۱ و ۳۸ گیگاژول بر هکتار برآورد شد و انرژی برق با ۳۹/۵ گیگاژول بر هکتار بیشترین سهم را از انرژی مصرفی کل داشت [۱۰]. همچنین، صفا و ساماراسینگ [۲۱] مصرف انرژی برای تولید گندم در نیوزیلند را ۲۲۵۶۶ مگاژول بر هکتار گزارش نمودند و بیان داشتند که کود با ۴۷ درصد و برق با ۲۲ درصد بیشترین سهم را انرژی مصرفی کل داشتند. انرژی مصرفی و تولیدی در فرایند تولید گندم در استان نیو سوت ویلز استرالیا نیز به ترتیب ۳۰۲۸ و ۲۷۸۷۴ کیلووات ساعت بر هکتار گزارش گردید [۹].

حدود ۲۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان مربوط به بخش کشاورزی است [۲۴]. کل گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته در آفریقای جنوبی در سال ۲۰۱۲ معادل ۵/۲ میلیون تن دی‌اکسید کربن گزارش‌شده است [۲۵]. بر اساس گزارش بیسواس و همکاران [۳]، در فرایند تولید و حمل‌ونقل یک تن گندم در استرالیای جوب غربی معادل ۱۷۱ کیلوگرم دی‌اکسید منتشر می‌گردد. انتشار اکسید نیتروژن از خاک به‌عنوان مهم‌ترین منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای در استان ویکتوریای استرالیا گزارش شده است [۴].

ممکن است مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرایند تولید محصولات کشاورزی تحت تأثیر روش خاک‌ورزی و سیستم کشت قرار گیرد. استفاده از روش کم خاک‌ورزی به جای خاک‌ورزی مرسوم می‌تواند تا ۱۰ درصد مصرف سوخت در مزرعه را کاهش دهد [۵]. چن و همکاران [۶] نشان دادند که استفاده از کم خاک‌ورزی و کنترل ترافیک در کوییزلند استرالیا مصرف انرژی را ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. بر اساس نتایج تحقیقات چن و همکاران [۷]، انرژی موردنیاز برای تولید محصولات دانه‌ای تحت شرایط دیم در استرالیا در سامانه کشت مستقیم کمتر از مقدار آن در خاک‌ورزی مرسوم هست. همچنین روش‌های کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی در استان نیو سوت ویلز استرالیا مصرف انرژی را در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب ۱۲ و ۲۴ درصد کاهش می‌دهند [۱]. نتایج تحقیقات ماراسنی و

کوکفیلد [۱۴] در کویینزلند استرالیا نشان داد که اثر تغییر روش خاک‌ورزی از مرسوم به بی خاک‌ورزی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای مثبت ولی نسبتاً ناچیز هست. بنک و همکاران [۲] نشان دادند که انتشار گاز متان در ایالت ایلی نویز آمریکا تحت تأثیر روش خاک‌ورزی قرار نمی‌گیرد. همچنین بر اساس نتایج تحقیقات کراوس و همکاران [۱۲]، روش خاک‌ورزی اثر معنی داری بر انتشار گازهای اکسید نیتروژن و متان در تولید گندم در سوئیس ندارد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات گذشته، روش خاک‌ورزی می‌تواند انرژی مصرفی و گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در فرایند تولید محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد، اما مقدار این تأثیر ممکن است با نوع خاک، شرایط اقلیمی و نوع محصول تغییر نماید. بنابراین، در این تحقیق اثر روش‌های خاک‌ورزی بر شاخص‌های انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهره‌وری مصرف آب در فرایند تولید گندم در شرایط اقلیمی معتدل استان فارس بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و چهار تکرار اجرا شد. سه روش خاک‌ورزی شامل بی خاک‌ورزی (NT)، کم خاک‌ورزی (RT) و خاک‌ورزی مرسوم (CT) در نظر گرفته شدند. در خاک‌ورزی مرسوم، شخم اولیه با استفاده از گاوآهن برگردان دار و خاک‌ورزی ثانویه به‌وسیله دیسک و لولر انجام شد و بذر گندم با خطی کار کشت گردید. در کم خاک‌ورزی، تهیه زمین با استفاده از خاک ورز مرکب انجام شد و بذر گندم با خطی کار کشت شد. در روش بی خاک‌ورزی، بذر گندم بدون هیچ‌گونه تهیه زمین با استفاده از مستقیم کار غلات کشت شد. گندم رقم چمران با تراکم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در اواخر آبان در کرت‌هایی به ابعاد ۲۰×۶ متر کشت شد و در اواخر خرداد برداشت گردید.

برای محاسبهٔ شاخص‌های انرژی، مجموع انرژی نهاده‌ها و مجموع انرژی ستا ده‌ها در تولید گندم در هر یک از روش‌های خاک‌ورزی تعیین شد و با استفاده از معادلات موجود، شاخص‌های انرژی محاسبه شدند. برای محاسبهٔ انرژی‌های ورودی به سیستم، انرژی مربوط به بذرها، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی نیتروژنی، پتاسه و فسفاته بر حسب کیلوگرم، از حاصل ضرب هم‌ارز انرژی آن نهاده‌ها (جدول ۱) در میزان استفاده از آن‌ها به‌دست آمد. مقدار سوخت مصرفی در هر تیمار در هم‌ارز انرژی سوخت ضرب و میزان انرژی سوخت مصرفی محاسبه شد. انرژی مربوط به ساخت ماشین‌ها با واحد مگاژول بر هکتار بر اساس عمر اقتصادی ماشین یا تأسیسات، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر، جرم ماشین و هم‌ارز انرژی و با استفاده از معادلهٔ ۱ به‌دست آمد [۱۱]:

$$ME = \frac{M.E}{T.C_a} \qquad (۱)$$

که در آن: ME انرژی مربوط به ساخت ماشین (MJ/ha)، T عمر اقتصادی ماشین (hr)، C_a ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ماشین (ha/hr)، M جرم ماشین (kg)، و E هم‌ارز انرژی (MJ/kg) است. آب مصرفی با استفاده کنتور حجمی اندازه‌گیری و انرژی مصرفی برای استحصال آب آبیاری در تیمارهای مختلف هم به‌صورت مستقیم و هم به‌صورت غیرمستقیم محاسبه شد. انرژی مستقیم، انرژی لازم برای بالا آوردن و تحت‌فشار قرار دادن آب موردنیاز در هر هکتار است که از رابطهٔ ۲ محاسبه شد [۱۱]:

$$DE = \frac{Q \times \rho \times g \times h}{\eta_1 \eta_2} \qquad (۲)$$

که در آن: DE انرژی مستقیم استحصال آب (J/ha)، ρ چگالی آب (kg/m^3)، g شتاب جاذبه (m/s^2)، Q حجم آب مصرف شده برای تولید محصول در یک فصل زراعی (m^3/ha)، h هد دینامیکی چاه (m)، η_1 راندمان پمپ (٪)، و η_2 بازده کل تبدیل انرژی و توان (٪) است که برای پمپ دیزلی ۲۵ تا ۳۰ درصد و برای پمپ برقی ۱۸ تا ۲۲ درصد در نظر گرفته می‌شود. انرژی غیرمستقیم شامل مواد خام، ساخت و انتقال کلیهٔ عواملی است که در آبیاری دخالت دارند که در این تحقیق ۱۸ درصد از انرژی مستقیم به‌عنوان انرژی غیرمستقیم در نظر گرفته شد [۱۱].

جدول ۱- هم‌ارز انرژی نهاده‌های مختلف

نهاده	هم‌ارز انرژی		منبع	نهاده	هم‌ارز انرژی		منبع
	مقدار	واحد			مقدار	واحد	
برق	۱۲/۰	مگاژول بر کیلووات ساعت	[۱۱]	بذرکار	۱۳۳/۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]
گازوئیل	۴۷/۸	مگاژول بر لیتر	[۱۱]	کودپاش	۱۳۳/۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]
تراکتور	۱۳۸/۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]	لولر	۱۳۳/۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]
کمباین	۱۱۶/۰	مگاژول	[۱۱]	نیتروژن	۷۸/۱	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]
گاوآهن	۱۸۰/۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]	فسفات	۱۷/۴	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]
دیسک	۱۴۹/۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]	سم	۸۵/۵	مگاژول بر لیتر	[۱۱]
فاروئر	۱۳۳/۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]	کارگر	۱/۹۶	مگاژول بر ساعت	[۱۹]
نهرکن	۱۳۳/۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]	دانه گندم	۱۳	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]
مرزبند	۱۳۳/۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]	کاه گندم	۱۲/۵	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]
سم‌پاش	۱۲۹/۰	مگاژول بر کیلوگرم	[۱۱]	حمل‌ونقل	۳/۰	مگاژول بر تن بر کیلومتر	[۱۱]
آب آبیاری	۱/۰۲	مگاژول بر متر مکعب	[۲۱]				

انرژی کارگر موردنیاز در تمام مراحل کشاورزی شامل آبیاری، وجین، هدایت تراکتور، برداشت، سم‌پاشی و مدیریت مزرعه در نظر گرفته شد. کل انرژی کارگر با در نظر گرفتن تعداد کارگر و انرژی مصرفی هر کارگر در یک روز تعیین گردید. به‌منظور محاسبهٔ انرژی خروجی، مقدار کاه و دانه گندم تولیدشده در هم‌ارز انرژی مربوطه ضرب شد. شاخص‌های نسبت انرژی، انرژی خالص تولیدشده در واحد سطح و بهره‌وری انرژی با استفاده از رابطه‌های ۳ تا ۵ محاسبه شدند [۱۹]:

$$ER = \frac{OE}{IE} \quad (۳)$$

$$NEG = OE - IE \quad (۴)$$

$$EP = \frac{Y}{IE} \quad (۵)$$

که در این رابطه‌ها: ER نسبت انرژی، NEG انرژی خالص تولیدشده (MJ/ha)، EP بهره‌وری انرژی (kg/MJ)، IE انرژی ورودی (MJ/ha)، OE انرژی خروجی علوفهٔ سبز یا دانه و کاه (MJ/ha)، و Y عملکرد محصول (kg/ha) است. در این پژوهش، علاوه بر محاسبه شاخص‌های انرژی به‌عنوان معیار مقایسهٔ تیمارها، در هر تیمار سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی از کل انرژی مصرف شده نیز مشخص شد.

به‌منظور بررسی بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای مختلف، با داشتن حجم آب مصرفی و عملکرد محصول، با استفاده از رابطهٔ ۶، بهره‌وری مصرف آب در هر تیمار محاسبه شد:

$$WP = \frac{Y}{W} \qquad (۶)$$

که در آن: WP بهره‌وری مصرف آب (kg/m^3)، Y عملکرد محصول (kg/ha)، و W مقدار آب مصرفی (m^3/ha) است.

در مراحل مختلف تولید، حمل‌ونقل و مصرف گازوئیل در فرایند تولید گندم، گازهای گلخانه‌ای متصاعد می‌شوند که با توجه به این‌که مقدار گازهای منتشرشده در مرحله حمل‌ونقل بسیار ناچیز هست [۱۵] ، در این تحقیق فقط گازهای منتشرشده در مرحله تولید و مصرف گازوئیل در نظر گرفته شد. مقدار ۳/۱۵ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل برای تمام گازهای منتشرشده در فرایند تولید و سوختن یک لیتر گازوئیل در نظر گرفته شد [۱۶]. گازوئیل مصرف شده در مراحل تهیه زمین و کاشت گندم در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شدند، اما مصرف گازوئیل در مراحل داشت و برداشت با استفاده از اطلاعات موجود در منابع [۱۱] برآورد گردید. با ضرب کردن مقدار کل گازوئیل مصرف شده در هر هکتار در عدد ۳/۱۵، معادل کل گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته بر حسب وزن دی‌اکسید به دست آمد.

تمام مراحل تولید، بسته‌بندی، انبارداری و حمل‌ونقل مواد شیمیایی (کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها) مصرف شده در فرایند تولید گندم مستلزم مصرف انرژی است، بنابراین در این فرایند مقداری گاز گلخانه‌ای نیز متصاعد می‌شود. دی‌اکسید معادل گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده در فرایند تولید، بسته‌بندی، انبارداری و حمل‌ونقل واحد جرم هرکدام از کودهای نیتروژن، فسفات و پتاس مصرف شده در تولید گندم با استفاده از فاکتورهای انتشار کربن توصیه شده توسط لل [۱۳] وفاکتور تبدیل جرم کربن به دی‌اکسید کربن محاسبه گردید.

اکسید نیتروژن متصاعد شده از خاک در اثر استفاده از کود نیتروژن با استفاده از فرمول ۷ محاسبه گردید [۱۷]:

$$E = M \times EF \times C_g \qquad (۷)$$

که در آن E اکسید نیتروژن متصاعد شده در سال از کود نیتروژن مصرف شده (کیلوگرم در هکتار)، M مقدار کود نیتروژن مصرف شده در هر هکتار (کیلوگرم بر هکتار)، EF ضریب انتشار که بر اساس توصیه اهالران و همکاران [۱۷] برای سیستم کشت آبی، ۰/۰۲۱ کیلو گرم اکسید نیتروژن به ازاء یک کیلوگرم نیتروژن مصرف شده در نظر گرفته شد، C_g فاکتور تبدیل جرم عنصری اکسید نیتروژن به جرم مولکولی آن (۱/۵۷) هست. برای تبدیل اکسید نیتروژن متصاعد شده به دی‌اکسید کربن معادل، مقدار محاسبه شده از فرمول فوق در ضریب تبدیل ۲۹۸ ضرب شد [۱۶].

آب مصرفی برای تولید گندم با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد و انرژی الکتریسیته مصرف شده برای پمپاژ آب آبیاری با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید. برای محاسبه دی‌اکسید متصاعد شده در اثر تولید و مصرف انرژی الکتریسیته، مقدار انرژی الکتریسیته در ضریب تبدیل ۲۵۱ ضرب شد [۸]. علاوه بر دی‌اکسید معادل متصاعد شده در اثر مصرف انرژی الکتریسیته، ۵۹/۸۲ کیلوگرم دی‌اکسید در هکتار در یک سال نیز برای نصب و راه‌اندازی سیستم آبیاری بارانی در مزرعه در نظر گرفته شد [۱۳].

گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده در فرایند تولید ماشین‌های کشاورزی با استفاده از فرمول ۸ محاسبه شد [۱۵]:

$$GHG_{fm} = W \times GHG_i \times F \qquad (۸)$$

که در آن GHG_{fm} مجموع گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده در فرایند تولید ماشین‌های کشاورزی (کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل در هکتار)، W وزن ماشین (کیلوگرم)، F قسمتی از عمر مفید ماشین که برای تولید گندم استفاده شده است و از معکوس حاصل ضرب عمر مفید ماشین و ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر آن به دست می‌آید و GHG_i دی‌اکسید کربن معادل متصاعد شده در فرایند تولید یک کیلوگرم از ماشین موردنظر هست. برای محاسبه GHG_i، انرژی موردنیاز برای تولید واحد جرم ماشین‌ها با استفاده از اطلاعات فراهم شده توسط کیتانی و همکاران [۱۱] بر حسب کیلووات ساعت بر کیلوگرم محاسبه شد و در ضریب تبدیل ۰/۱۱۴ که توسط ماراسنی و همکاران [۱۵] پیشنهاد شده بود (دی‌اکسید کربن معادل متصاعد شده در فرایند تولید یک کیلووات ساعت انرژی)، ضرب شد. مجموع گازهای گلخانه‌ای تولیدشده در هر هکتار در فرایند تولید گندم، از جمع‌کردن جرم گاز های گلخانه‌ای متصاعد شده در قسمت‌های مختلف حاصل شد و شدت تولید گازهای گلخانه‌ای با استفاده از فرمول ۹ محاسبه شد:

$$GHGI = {}^{TGHG}/_{Y} \qquad (۹)$$

که در آن $GHGI$ شدت تولید گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم گاز متصاعد شده بر کیلوگرم محصول تولیدشده)، $TGHG$ مجموع گازهای گلخانه‌ای تولیدشده (کیلوگرم بر هکتار) و Y عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) هست.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که در فرایند تولید گندم، بیشترین انرژی در خاک‌ورزی مرسوم مصرف شد (۷۹۰۷۵ مگاژول بر هکتار) و بی خاک‌ورزی (۷۷۶۵۷ مگاژول بر هکتار) و کم خاک‌ورزی (۷۸۰۱۲ مگاژول بر هکتار) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۲). روش‌های کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی انرژی مصرفی در تولیدگندم را در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب ۱/۷۹ و ۱/۳۴ درصد کاهش دادند که دلیل آن مصرف کمتر انرژی سوخت و ماشین‌ها در این دو روش بود. چن و همکاران [۷] نیز کاهش انرژی مصرفی تولید گندم در روش بی خاک‌ورزی نسبت به روش مرسوم را در شرایط دیم استرالیا گزارش کرده‌اند. در تمام روش‌های خاک‌ورزی، انرژی الکتریسیته برای پمپاژ آب آبیاری بیشترین سهم را از کل انرژی مصرفی در فرایند تولید گندم داشت و کود شیمیایی در رتبه دوم قرار گرفت. در تمام روش‌های خاک‌ورزی، بیش از ۵۶ درصد از انرژی مصرفی برای تولید گندم مربوط به فرایند آبیاری شامل آب آبیاری و انرژی لازم برای پمپاژ آب و کمترین سهم مربوط به انرژی کارگری بود. قسمت اعظم انرژی مصرف شده در تولید گندم، انرژی مستقیم بود (بیش از ۶۰ درصد) که البته سهم انرژی مستقیم در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم اندکی کاهش یافت. همچنین بیش از ۹۱ درصد از انرژی مصرف شده در فرایند تولید گندم انرژی تجدید ناپذیر بود، هرچند سهم انرژی تجدید پذیر در روش‌های کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم اندکی بیشتر بود. انرژی مصرفی برای تولید گندم در استان اردبیل ۳۸۳۶۰ مگاژول بر هکتار گزارش شده است [۲۳] که نسبت به انرژی به‌دست‌آمده در این تحقیق بسیار کمتر است و دلیل آن شرایط آب و هوایی متفاوت این دو استان هست. به دلیل هوای سرد و بارندگی بیشتر استان اردبیل، تولید گندم در این استان نیاز کمتری به آب آبیاری دارد و در نتیجه مصرف انرژی سوخت و برق برای تولید گندم در این استان کمتر است. از طرف دیگر، انرژی مصرفی برای تولید گندم در استان اصفهان ۸۰۱۰۰ مگاژول بر هکتار گزارش شده است [۱۰] که به دلیل مشابهت آب و هوایی این استان با استان فارس، این مقدار انرژی مصرفی به آنچه در این تحقیق برای استان فارس به‌دست‌آمده، بسیار نزدیک است. مانند آنچه در این تحقیق به‌دست‌آمده است، در استان اصفهان

نیز الکتریسیته بیشترین سهم را از کل انرژی مصرفی داشته است، درحالی‌که در استان اردبیل بیشترین سهم مربوط به کود بوده است.

جدول ۲- انرژی مصرفی در تولید گندم تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی

نهاده‌ها	خاک‌ورزی مرسوم		کم خاک‌ورزی		بی خاک‌ورزی	
	انرژی (مگاژول بر هکتار)	سهم از انرژی کل (٪)	انرژی (مگاژول بر هکتار)	سهم از انرژی کل (٪)	انرژی (مگاژول بر هکتار)	سهم از انرژی کل (٪)
گازوئیل	۳۹۴۹	۴/۹۹	۲۲۳۲	۲/۸۷	۱۵۸۷	۲/۰۳
الکتریسیته	۳۸۴۶۷	۴۸/۶۵	۳۸۴۶۷	۴۹/۵۳	۳۸۴۶۷	۴۹/۳۱
آب آبیاری	۶۴۰۰	۸/۰۹	۶۴۰۰	۸/۲۴	۶۴۰۰	۸/۲۰
ماشین	۷۹۷۰	۱۰/۰۸	۷۵۵۸	۹/۷۳	۷۳۹۰	۹/۴۷
کود شیمیایی	۱۶۳۲۰	۲۰/۶۴	۱۷۲۱۸	۲۲/۱۷	۱۸۱۱۶	۲۳/۲۲
سموم	۲۹۹	۰/۳۸	۴۷۰	۰/۶۱	۵۹۹	۰/۷۷
بذر	۲۶۰۰	۳/۲۹	۲۶۰۰	۳/۳۵	۲۶۰۰	۳/۳۳
کارگر	۷۸	۰/۱۰	۷۲	۰/۰۹	۷۰	۰/۰۹
حمل‌ونقل	۲۹۹۳	۳/۷۸	۲۶۴۰	۳/۴۰	۲۷۸۴	۳/۵۷
کل انرژی مصرفی	۷۹۰۷۵	۱۰۰/۰۰	۷۷۶۵۷	۱۰۰/۰۰	۷۸۰۱۲	۱۰۰/۰۰
انرژی مستقیم	۴۸۸۹۳	۶۱/۸۳	۴۷۱۷۱	۶۰/۷۴	۴۶۵۲۴	۶۴/۵۹
انرژی غیرمستقیم	۳۰۱۸۲	۳۸/۱۷	۳۰۴۸۶	۳۹/۲۶	۳۱۴۸۹	۴۰/۳۶
انرژی تجدید پذیر	۶۴۷۷	۸/۱۹	۶۴۷۱	۸/۳۳	۶۴۶۹	۸/۲۹
انرژی تجدید ناپذیر	۷۲۵۹۸	۹۱/۸۱	۷۱۱۸۶	۹۱/۶۷	۷۱۵۴۳	۹۱/۷۱

انرژی تولیدی در فرایند تولید گندم در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم، کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی به ترتیب ۲۴۱۴۲۷، ۲۳۳۲۱۹ و ۲۳۵۲۹۶ مگاژول بر هکتار بود (جدول ۳). خاک‌ورزی مرسوم به دلیل عملکرد بالاتر، در مقایسه با کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی بیشترین انرژی تولیدی را داشت. انرژی تولیدی ۳۸۰۴۰ مگاژول بر هکتار برای گندم در استان اصفهان گزارش شده است [۱۰] که به دلیل نادیده گرفته شدن انرژی کاه تولیدی، در مقایسه با انرژی به‌دست‌آمده در این تحقیق بسیار کمتر است. انرژی خالص تولیدی در تمام تیمارهای خاک‌ورزی مثبت بود که نشان دهنده بیشتر بودن انرژی تولیدی در مقایسه با انرژی مصرفی در فرایند تولید گندم هست. خاک‌ورزی مرسوم در مقایسه با کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی به دلیل انرژی خروجی بیشتر، دارای بیشترین انرژی خالص تولیدی بود. بیشترین نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و بهره‌وری مصرف آب (۳/۰۵۳، ۰/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول و ۳/۰۳ کیلوگرم بر متر مکعب) نیز متعلق به تیمار خاک‌ورزی مرسوم بود و تیمارهای بی خاک‌ورزی و کم خاک‌ورزی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در خاک‌ورزی مرسوم، ۴/۱۶ مگاژول انرژی برای تولید یک کیلوگرم کاه و دانه گندم مصرف شد، درحالی‌که انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم کاه و دانه گندم در تیمارهای بی خاک‌ورزی و کم خاک‌ورزی به ترتیب ۴/۲۱ و ۴/۲۳ مگاژول بود. نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی (کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی) علیرغم کاهش انرژی مصرفی

در تولید گندم، به دلیل عملکرد و انرژی تولیدی کمتر نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، نسبت و بهره‌وری انرژی را افزایش ندادند. نسب و بهره‌وری انرژی ۳/۱۳ و ۰/۱۶ کیلوگرم بر مگاژول برای تولید گندم در استان اردبیل گزارش شده است [۲۳] که به مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص‌های فوق در این تحقیق، بسیار نزدیک است.

جدول ۳- شاخص‌های انرژی در تولید گندم تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی

شاخص‌های انرژی	خاک‌ورزی مرسوم	کم خاک‌ورزی	بی خاک‌ورزی
انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)	۷۹۰۷۵	۷۷۶۵۷	۷۸۰۱۲
انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)	۲۴۱۴۲۷	۲۳۳۲۲۹	۲۳۵۲۹۶
انرژی خالص (مگاژول بر هکتار)	۱۶۲۳۵۲	۱۵۵۵۷۲	۱۵۷۲۸۴
نسبت انرژی	۳/۰۵۳	۳/۰۰۳	۳/۰۱۶
شدت انرژی (مگاژول بر کیلوگرم)	۴/۱۶	۴/۲۳	۴/۲۱
بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)	۰/۲۴۰	۰/۲۳۶	۰/۲۳۷
بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	۳/۰۳	۲/۹۳	۲/۹۵

مجموع گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده در فرایند تولید گندم در تیمارهای خاک وزی مرسوم، کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی به ترتیب ۱۲۹۱۸، ۱۲۹۷۵ و ۱۳۱۱۸ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل در هر هکتار بود که نشان داد به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۷۸ و ۰/۷۴ کیلوگرم دی‌اکسید به ازاء تولید یک کیلوگرم کاه و دانه گندم در تمارهای خاک‌ورزی مرسوم، کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی متصاعد شده است (جدول ۴). گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده از تیمارهای بی خاک‌ورزی و کم خاک‌ورزی به ترتیب ۱/۵۵ و ۰/۴۴ درصد بیشتر از مقدار متصاعد شده از خاک‌ورزی مرسوم بود که دلیل آن عمدتاً مصرف مواد شیمیایی بیشتر در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی هست، زیرا برای کنترل علف‌های هرز و تجزیه بقایای گیاهی در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نیاز به سموم علف‌کش و کود نیتروژنه بیشتری است. این نتایج نشان داد که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نه تنها مقدار گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده در تولید گندم را کاهش نداد بلکه باعث افزایش آن‌ها نیز شد. البته ماراسنی و کوکفیلد [۱۴] اثر بی خاک‌ورزی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات دانه‌ای در استرالیا را مثبت ارزیابی کرده‌اند، اما بیان داشته‌اند که این اثر بسیار ناچیز هست. در تمام تیمارهای خاک‌ورزی، الکتریسیته برای پمپاژ آب آبیاری بیشترین سهم را از کل گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده در تولید گندم داشت و کمترین سهم مربوط به تولید ماشین‌های کشاورزی بود. چن و همکاران [۷] نیز الکتریسیته موردنیاز برای پمپاژ آب آبیاری را به‌عنوان مهم‌ترین عامل انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات کشاورزی در استرالیا معرفی کرده‌اند.

جدول ۴- گاز گلخانه‌ای متصاعد شده در تولید گندم تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی

منابع متصاعد کننده گاز	خاک‌ورزی مرسوم		کم خاک‌ورزی		بی خاک‌ورزی	
	گازمتصاعدشده (کیلوگرم بر هکتار)	سهم از کل (٪)	گازمتصاعدشده (کیلوگرم بر هکتار)	سهم از کل (٪)	گازمتصاعدشده (کیلوگرم بر هکتار)	سهم از کل (٪)
گازوئیل	۲۶۰/۲	۲/۰۱	۱۴۷/۱	۱/۱۳	۱۰۴/۶	۰/۸۰
مواد شیمیایی	۱۰۴۴/۳	۸/۰۸	۱۱۴۸/۳	۸/۸۵	۱۲۴۰/۱	۹/۴۵
کود نیتروژن	۱۸۰۸/۸	۱۳/۹۹	۱۹۲۰/۸	۱۴/۸۰	۲۰۳۳/۸	۱۵/۵۰
الکتریسیته	۹۶۸۵/۹	۷۴/۹۸	۹۶۸۵/۹	۷۴/۶۵	۹۶۸۵/۹	۷۳/۸۴

ماشین‌های کشاورزی	۱۱۹/۴	۰/۹۲	۷۲/۴	۰/۵۶	۵۳/۲	۰/۴۱
مجموع گاز متصاعد شده	۱۲۹۱۷/۷	۱۰۰/۰۰	۱۲۹۷۴/۵	۱۰۰/۰۰	۱۳۱۱۷/۵	۱۰۰/۰۰
شدت گاز متصاعد شده (کیلوگرم گاز بر کیلوگرم محصول)	۰/۶۸		۰/۷۸		۰/۷۴	

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرایند تولید گندم تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بررسی گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، موارد ذیل را می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

در فرایند تولید گندم، خاک‌ورزی مرسوم بیشترین مصرف انرژی را دارد و روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی (کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی) به دلیل مصرف سوخت و ماشین‌های کمتر، انرژی مصرفی را حداقل ۱/۱۲ درصد کاهش می‌دهند. در تمام روش‌های خاک‌ورزی، آب آبیاری و انرژی موردنیاز برای پمپاژ این آب بیشترین سهم را از انرژی مصرفی کل دارند و کودهای شیمیایی در رتبه دوم قرار دارند، بنابراین استفاده از روش‌های آبیاری باراندمان بالا می‌تواند نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی در تولید گندم داشته باشد. همچنین در تمام روش‌های خاک‌ورزی، قسمت اعظم انرژی مصرفی (به ترتیب بیش از ۶۰ و ۹۱ درصد) انرژی مستقیم و تجدید ناپذیر هست که باید با به‌کارگیری انرژی‌های پاک مانند انرژی خورشیدی، سهم انرژی‌های تجدید پذیر در تولید گندم افزایش یابد.

روش‌های کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی به دلیل عملکرد کمتر کاه و دانه گندم در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم انرژی تولیدی کمتری دارند در نتیجه نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و بهره‌وری مصرف آب نیز در خاک‌ورزی مرسوم بیشتر از کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی است. بنابراین روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی علیرغم کاهش انرژی مصرفی در تولید گندم آبی، به دلیل عملکرد و انرژی تولیدی کمتر قادر به افزایش شاخص‌های انرژی مانند نسبت و بهره‌وری انرژی نیستند.

در تولید گندم، انتشار گازهای گلخانه‌ای در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم بیشتر است که دلیل عمده آن مصرف سموم شیمیایی و کود نیتروژنه بیشتر است. بنابراین روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی علیرغم کاهش انرژی مصرفی در فرایند تولید گندم، به کاهش آلودگی محیط‌زیست کمکی نمی‌کنند. در انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرایند تولید گندم نیز مصرف الکتریسیته برای پمپاژ آب آبیاری بیشترین سهم را در تمام روش‌های خاک‌ورزی دارد، بنابراین استفاده از روش‌های آبیاری باراندمان بالا در تولید گندم به کاهش آلودگی محیط‌زیست نیز کمک خواهد کرد.

تشکر و قدردانی

از سازمان جهاد کشاورزی فارس برای تأمین اعتبار این تحقیق صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1. Baillie, C. 2009. Energy and carbon accounting case study on Keytah, a project report for the Cotton Research and Development Corporation CRDC. National

Centre for Engineering in Agriculture, University of Southern Queensland, Toowoomba.
2. Behnke, G.D., Zuber, S.M., Pittelkow, C.M., Nafziger, E.D., María B., and Villamil, M.B. 2018. Long-term crop rotation and tillage effects on soil greenhouse gas emissions and crop production in Illinois, USA. Agr. Ecosyst. Environ., 261: 62-70.
3. Biswas, W.K., Barton, L., and Carter, D. 2008. Global warming potential of wheat production in Western Australia: a life cycle assessment. Water Environ. J., 22: 6-16.
4. Biswas, W.K., Graham, J., Kelly, K., and John, M.B. 2010. Global warming contributions from wheat, sheep meat and wool production in Victoria, Australia: a life cycle assessment. J. Clean. Prod., 18 (14): 1386-1392.
5. Chen, G., and Baillie, C. 2009. Development of a framework and tool to assess on-farm energy uses of cotton production. Energ. Convers. Manage., 50(5): 1256-1263.
6. Chen, G., Kupke, P., and Baillie, C. 2008. Opportunities to enhance energy efficiency and minimise greenhouse gases in Queensland's intensive agricultural sector, in A Knapp & P Perkins (eds). Improving the Capacity of Queensland Intensive Agriculture to Manage Climate Change, Queensland Farmer's Federation, Brisbane.
7. Chen, G., Maraseni, T., Banhazi, T., and Bundschuh, J. 2015. Benchmarking energy use on farm. RIRDC Publication No 15/059, pp 120.
8. DEE, 2018. Australian National Greenhouse Accounts (**بخش** of the Environment and Energy): National Greenhouse Accounts Factors. Canberra: Commonwealth of Australia, http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/au.
9. Khan, S., Khan, M.A., and Latif, N. 2010b. Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. Soil Environm., 29(1): 61-68.
10. Khoshnevisan, B., Rafiee, Sh., Omid, M., Yousefi, M., and Movahedi, M. 2013. Modelling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy, 52: 333-338.
11. Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R.M., and Ramdani, A. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineers, Energy and Biomass Engineering. vol. 5, ASAE Publication, MI.
12. Krauss, M., Ruser, R., Müller, T., Hansen, S., Mäder, P., and Gattinger, A. 2017. Impact of reduced tillage on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley-winter wheat cropping sequence. Agr. Ecosyst. Environ., 239: 324-333.
13. Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operation. Environ. Int. 30: 981-990.
14. Maraseni, T.N., and Cockfield, G. 2011a. Does the adoption of zero tillage reduce greenhouse gas emissions? An assessment for the grains industry in Australia. Agr. Syst., 104: 451-458.
15. Maraseni, T.N., Cockfield, G., and Apan, A. 2007. A comparison of greenhouse gas emissions from inputs into farm enterprises in Southeast Queensland, Australia. J. Environ. Sci. Heal. A., 42: 11-19.

16. Maraseni, T.N., Cockfield, G., and Maroulis, J. 2010. An assessment of greenhouse gas emissions: implications for the Australian cotton industry. J. Agr. Sci., 148: 501-510.
17. O'Halloran, N.J., Fisher, P.D., and Rab, M.A. 2008. Vegetable industry carbon footprint scoping study preliminary estimation of the carbon footprint of the Australian vegetable industry. Discussion Paper 4. Sydney: Horticulture Australia Ltd.
18. Pelletier, N., Arsenault, N., and Tyedmers, P. 2008. Scenario modeling potential eco-efficiency gains from a transition to organic agriculture: Life cycle perspectives on Canadian canola, corn, soy, and wheat production. Environ. Manage., 42: 989-1001.
19. Pishgar, K. S. H., Keyhani, A., Rafiee, Sh., and Sefeedpary, P. 2011. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. *Energy*, 36: 3335-3341.
20. Rafiee, S., Mousavi-Avval, S. H., and Mohammadi, A. 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. Energy, 35: 3301-3306.
21. Safa, M., and Samarasinghe, S. 2011. Determination and modelling of energy consumption in wheat production using neural networks: A case study in Canterbury province, New Zealand. Energy., 36 (8): 5140-5147.
22. Sandell, G.R., Hopf, J., Chen, G., and Yusaf, T. 2014. The feasibility and development of alternative energy sources for cotton. National Centre for Engineering in Agriculture, Publication 1004527/1, USQ, Toowoomba.
23. Shahin, S., Jafari, A., Mobli, H., Rafiee, S., and Karimi, M. 2008. Effect of farm size on energy ratio for wheat production: A case study from Ardabil province of Iran. Am.-Euras. J. Agr. Environ. Sci., 3 (4): 604-608.
24. Sims, R.E.H., and Flammini, A. 2014. Energy-smart food-technologies, practices and policies. In Bundschuh, J. and Chen, G. (eds). *Sustainable Energy Solutions in Agriculture*, CRC Press, Taylor & Francis Books.
25. Tongwane, M., Mdlambuzi, Th., Moeletsi, M., Tsubo, M., Mliswa, V., and Grootboom, L. 2016. Greenhouse gas emissions from different crop production and management practices in South Africa. Environ. Develop., 19: 23-35.
26. Yildiz, T. 2016. An input-output energy analysis of wheat production in Çarşamba district of Samsun province. J. Agr. Facul. Gazi. Uni., 33(3): 10-20.

Effect of Conservation tillage on Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Wheat Production

Sadegh Afzalinia*

of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Education Center for بخش
Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran.

Abstract

In this study, input and output energies, energy indices, water productivity, and greenhouse gas (GHG) emissions arising from inputs were determined for wheat production under different tillage practices. Tillage methods were conventional tillage (CT), reduced tillage (RT), and no-till (NT). Results showed that reduced and no-till decreased energy requirement in wheat production for 1.79 and 1.34%, respectively compared to the conventional tillage mostly due to less fuel and machinery consumption. Conventional tillage had the higher energy use, energy output, net energy gain, energy efficiency, energy productivity, and water productivity compared to the reduced tillage and no-till. Electricity for pumping irrigation water had the highest share (about 50% on average) in total input energy of wheat production in all tillage methods followed by chemical fertilizers showing that using more efficient irrigation methods can significantly reduce energy use and greenhouse gas emissions. More than 60 and 91% of consumed energies were direct energy and nonrenewable energy, respectively. The highest greenhouse gas emission was related to the no-till followed by reduced and conventional tillage, and electricity for pumping water and irrigation system installation had the greatest share in the total greenhouse gas emissions. Results of this study also showed that despite reducing energy use, conservation tillage methods did not increase energy efficiency and productivity and did not decrease greenhouse gas emissions during wheat production.

Key words: Energy indices, global warming, tillage, water productivity, wheat

*Corresponding author
E-mail: sja925@mail.usask.ca