

ارزیابی شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم در استان گلستان

نصیبه رضوان طلب^۱، افشین سلطانی^{۱*}، ابراهیم زینلی^۱ و علیرضا فروغی‌نیا^۲

^۱گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

^۲شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی ایران، منطقه گلستان، گلستان، ایران.

آدرس الکترونیک: Afshin.soltani@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۳

رضوان طلب، ن.، ا. سلطانی، ا. زینلی و ع. فروغی‌نیا. ۱۳۹۸. ارزیابی شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم در استان گلستان. مجله کشاورزی بوم‌شناختی. ۹ (۱): ۳۸-۱۷.

سابقه و هدف: افزایش چشمگیر در مصرف انرژی، ضرورت تداوم و شتاب در اقدام‌های بهینه‌سازی در عرضه و تقاضای انرژی را بیش از پیش ضروری می‌سازد. همچنین با مصرف نهاده‌هایی همچون کودهای شیمیایی، سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته، بذر، سم‌ها و ماشین‌ها و ادوات کشاورزی در تولید هر هکتار گندم، میزان‌های مختلفی انرژی مصرف می‌شود که باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل CO_2 ، N_2O و CH_4 می‌شود. افزایش غلظت چنین گازهایی در جو می‌تواند موجب گرم شدن کره زمین شود. بنابراین توجه جدی به کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور میزان مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در همه زمین‌های زیر کشت گندم در استان گلستان بررسی شد و در نهایت راهکارهایی برای کاهش آن‌ها ارائه شد.

مواد و روش‌ها: به منظور تعیین میزان مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و چگونگی کاهش آن، ۱۴۰ کشتزارهای گندم در استان گلستان از طریق نمونه‌برداری سیستماتیک-تصادفی بررسی شد. میزان نهاده‌های مصرفی از جمله سوخت فسیلی ثبت شد و تجزیه و تحلیل انرژی بر مبنای میزان نهاده مصرفی به ازای هر واحد آن صورت گرفت. همچنین بررسی انتشار سه گاز گلخانه‌ای CO_2 ، N_2O و CH_4 ناشی از مصرف انرژی برای تولید نهاده‌های کشاورزی و انجام عملیات مختلف زراعی نیز انجام شد. در نهایت شاخص‌های کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه، انرژی خالص و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) کل، GWP در واحدهای سطح زمین، وزن محصول تولیدی، انرژی ورودی و انرژی خروجی نیز محاسبه شد.

نتایج و بحث: بنابر نتایج برای کشت یک هکتار گندم به 123 ± 0.23 لیتر گازوئیل و $16231 \pm 0.4 \pm 0.34$ مگاژول انرژی نیاز است. از هر هکتار گندم $1414 \pm 0.1 \pm 3/17$ کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن در هکتار به جو آزاد شد. آماده‌سازی زمین و برداشت نسبت به دیگر عملیات زراعی مصرف سوخت و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتری دارا بودند. مصرف کودهای نیتروژنی و سوخت‌های فسیلی بالاترین میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را نشان دادند که نزدیک به ۷۰ درصد از مصرف انرژی کل و ۷۸ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای کل را در پی داشتند. بنابر نتایج استفاده از تراکتورهایی با توان اسب بخار بالا و ادواتی با عرض کار و عمق نفوذ بیشتر در خاک به دلیل کاهش شمار بارهای عملیات و کاهش مدت زمان انجام آن برای آماده‌سازی زمین، کمبینات برای کاشت، استفاده از سم پاش توربینی به جای تراکتوری، کاربرد موتورهای نو (غیر فرسوده) برای آبیاری می‌تواند نقش مؤثری در کاهش مصرف سوخت و به دنبال آن کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مجموع عملیات زراعی ایفا کند.

نتیجه‌گیری: به منظور کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تمرکز بر مصرف بهینه کودهای نیتروژنی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی ضروری به نظر می‌رسد. چنانچه شرایط تولید گندم در استان گلستان به نحوی انجام پذیرد که کارایی مصرف انواع کودهای شیمیایی به ویژه کود اوره افزایش یابد و یا از کودهای آلی که منجر به غنی سازی خاک از مواد کانی در طی زمان طولانی است استفاده شود و کاربرد ماشین‌ها و ادوات با بهره‌وری بالاتر که منجر به کاهش مدت زمان استفاده از آن‌ها و مصرف سوخت می‌شود، می‌توان بهره‌وری انرژی و نسبت انرژی خروجی به ورودی را در هر هکتار افزایش داد و مصرف انرژی را به ازای هر کیلوگرم دانه و کاه کاهش داد. همچنین با به کارگیری چنین روش‌های مدیریتی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای سطح زمین و هر کیلوگرم عملکرد محصول (جزء اقتصادی) کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: الکتریسیته، سوخت فسیلی، کارایی مصرف انرژی، کودهای شیمیایی، عملیات زراعی.

مقدمه

مقایسه وضعیت انرژی ایران در سال ۱۳۹۱ با سال ۱۳۸۴ نشان می‌دهد که جمع عرضه انرژی با رشد سالیانه ۹/۳ درصد از ۱۲۲۵/۵ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۸۴ به ۱۵۹۸/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۹۱ رسیده است و کل مصرف نهایی انرژی از ۸۳۳/۸ به ۱۰۵۸/۶ میلیون بشکه معادل نفت خام افزایش یافته است. این افزایش چشمگیر در مصرف نهایی انرژی، ضرورت تداوم و شتاب در اقدام‌های بهینه‌سازی در عرضه و تقاضای انرژی را بیش از پیش ضروری می‌سازد (Ministry of Energy Iran, 2010). از مجموع ۴۵۶/۳ میلیون بشکه نفت خام و فرآورده‌های آن که در کل کشور برای بخش‌های مختلف از جمله: صنعت، حمل و نقل، خانگی، تجاری و کشاورزی استفاده می‌شود، ۲۴ میلیون بشکه در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و کمتر از ۶ درصد را شامل می‌شود (Iran Ministry of Energy, 2010). در مقیاس جهانی نیز حدود ۵ درصد از سوخت‌های فسیلی را فرآورده‌های کشاورزی مصرف می‌کند (Michos et al., 2012). بعضی افراد بر این باورند که به دلیل فراوانی و ارزانی نفت در ایران نیازی به ارزیابی و بررسی نیست که این باوری نادرست می‌باشد، این در حالی است که بررسی‌ها نشان می‌دهد با پیشرفت مکانیزاسیون در کشور می‌توان به آسانی به نارسایی‌ها و کمبودها در زمینه سوخت چیره شد. این امر بدون دانش و شناخت کافی از راه‌ها و ابزار کاهش مصرف انرژی میسر نخواهد بود (Shamabadi, 2012). گازوئیل از مهم منابع سوختی مورد استفاده در عملیات زراعی است زیرا موتورهایی که با گازوئیل کار می‌کنند توان بیشتری دارند. از بنزین نیز به‌طور عمده در موتور سم‌پاش‌های قابل حمل و برای وسایل نقلیه سبک در کشاورزی استفاده می‌شود (Kitani, 1999). فعالیت‌های زراعی شامل

خاک‌ورزی، پخش کود، سم‌پاشی، آبیاری و برداشت گیاهان زراعی به عنوان مصرف‌کننده مستقیم سوخت‌های فسیلی هستند (Safa and Samarasinghe, 2012). با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در جو، تمایلی جدی برای کاهش اثرگذاری‌های منفی آن بر تغییر اقلیم جهانی وجود دارد به طوری که بیشتر بررسی‌ها با کاهش میزان مصرف سوخت‌های فسیلی و کودهای نیتروژنی همراه است، اما پرداختن به چگونگی افزایش ترسیب کربن در زیست سپهر (بیوسفر) نیز می‌تواند از اثرگذاری‌های منفی افزایش دی‌اکسیدکربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای بکاهد (West and Marland, 2002). انتشار دی‌اکسیدکربن از کشتزار به دلایل مختلفی صورت می‌گیرد: در آغاز به دلیل نیاز به سوخت برای حرکت ماشین‌ها و ادوات کشاورزی که برای عملیات مختلف زراعی مانند خاک‌ورزی، کاشت، کوددهی، حفاظت گیاهی، آبیاری و برداشت، دوم برای تولید، ترکیب بندی (فرمولاسیون)، بسته‌بندی، انبارداری و حمل و نقل کودها و سموم شیمیایی و سم‌های برای ساخت، تعمیر و نگهداری ماشین‌ها و ادوات کشاورزی می‌باشد (Lal, 2004). کمبود انرژی از یک سو و اهمیت کشاورزی در تأمین غذای مردم جهان از سوی دیگر منجر به توجه پژوهشگران زیادی در ارزیابی میزان مصرف سوخت و انرژی در تولید محصول‌های گوناگون و در مکان‌های مختلف شده است. همچنین توجه به اثرگذاری‌های محیط‌زیستی تولید محصول‌های زراعی از جمله میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای که نقش بسیار مهمی در فرآیند تغییر اقلیم دارند نیز از نکات بسیار شایان توجه از لحاظ بوم‌شناختی (اکولوژیکی) شده است. در ایران نیز تحقیقات پرشماری در رابطه با مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم و دیگر محصول‌های زراعی و باغی صورت گرفته است که در این میان می‌توان به تحقیقات (Ghorbani et al. 2011) بر

سوخت‌های فسیلی می‌توان انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر هکتار را تا ۲۰ درصد کاهش داد. از سوی دیگر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به ازای هر تن محصول برداشت شده نیز ۴۰ درصد کاهش خواهد یافت که تولیدی پاک‌تر از نظر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را در پی خواهد داشت.

Soltani *et al.* (2013) با بررسی ۴ سناریوی تولید در محصول کلزا، میزان میانگین مصرف سوخت را 85 ± 7 لیتر در هر هکتار برآورد کردند. سناریوی رایج تولید که حدود ۷۰ درصد از کشاورزان آن را انجام می‌دهند و سناریوی مصرف بیشتر نهاده‌ها که حدود ۱۶ درصد از کشاورزان آن را اعمال می‌کنند بیشترین مصرف سوخت را با ۹۷ لیتر در هکتار نشان داد. سناریوی مدیریت بهتر محصول که حدود ۶ درصد از کشاورزان منطقه از آن استفاده می‌کنند کمترین میزان مصرف سوخت را نشان داد به‌طوری‌که مصرف سوخت در هر هکتار تا ۳۷ درصد کاهش نشان داد. در این سناریو، عمل کاشت و کوددهی توأم انجام می‌گیرد. بنابراین با مدیریت درست و استفاده ادوات ترکیبی می‌توان گام مهمی در جهت کاهش مصرف سوخت برداشت. Koga (2008) میزان مصرف سوخت در تولید محصول‌های مختلف در ژاپن را بررسی و گزارش کرد که برای تولید هر هکتار گندم زمستانه، چغندر قند و سیب زمینی به ترتیب $130/80$ ، $183/80$ و $241/40$ لیتر سوخت فسیلی نیاز است. در همه‌ی محصول‌های یاد شده، $71/10$ لیتر در هکتار سوخت فسیلی برای خاک‌ورزی مصرف شد. برای کاشت گندم زمستانه، چغندر قند و سیب زمینی به ترتیب $6/70$ ، $26/50$ و $10/40$ لیتر در هکتار، برای مبارزه با آفات و بیماری‌ها به ترتیب $13/3$ ، $11/5$ و $13/4$ لیتر در هکتار و برای برداشت آن‌ها $14/50$ ، $41/50$ و 127 لیتر در هکتار سوخت مصرف شد. همچنین روش کاشت و داشت و برداشت محصول نیز در سهم مصرف سوخت در عملیات مختلف مؤثر است. به‌طوری‌که در گندم زمستانه خاک‌ورزی و در چغندر قند و سیب زمینی به ترتیب کاشت و برداشت دارایی‌بیشترین میزان مصرف سوخت بودند. در مطالعه‌ای با بررسی مصرف انرژی در مزارع شالیزاری استان‌های مازندران و گیلان چنین نتیجه‌گیری شد که استفاده از روش آبیاری غرقابی و همچنین استحصال آب از منابع زیرزمینی توسط پمپ‌های الکتریکی نهاده آب سبب شده است که مصرف آب بیشترین سهم را در بین انرژی‌های

میزان مصرف سوخت در تولید گندم آبی و دیم در استان خراسان شمالی اشاره کرد که میزان مصرف سوخت را به ترتیب ۲۱۸ و $83/90$ لیتر در هکتار گزارش کردند. همچنین نظام تولید گندم آبی نزدیک به ۵ برابر انرژی بیشتری نسبت به گندم دیم مصرف کرد. در نظام کشت دیم، سوخت دیزل و در نظام کشت آبی، مصرف کودهای نیتروژنی بیشترین میزان مصرف انرژی را داشتند. کارایی انرژی در نظام کشت دیم نسبت به نظام کشت آبی $2/06$ برابر بیشتر بود که می‌تواند به دلیل مصرف انرژی و نهاده کمتر در نظام تولید گندم دیم نسبت به نظام تولید گندم آبی باشد. (Abdollahpoor and Zareie (2010) در پژوهشی دیگر که به منظور بررسی بیلان انرژی در گندم‌زارهای دیم استان کرمانشاه صورت گرفت گزارش کردند که کارایی انرژی برای محصول دانه گندم دیم $0/82$ و کاه آن $0/70$ محاسبه شد و این میزان برای انرژی کل $1/52$ بود. در تحقیقی که در شمال استان خوزستان بر مصرف انرژی در تولید گندم دیم انجام شد، (Kiani and Houshyar, (2012) گزارش کردند که در مجموع برای تولید هر هکتار گندم $16/50$ گیگاژول در هکتار انرژی مصرف شد. نهاده‌های کودهای شیمیایی (60 درصد)، سوخت فسیلی و بذر (به ترتیب ۱۸ و ۱۲ درصد) از مصرف انرژی را نشان دادند. این در حالی بود که تنها کودهای نیتروژنی ۹۵ درصد انرژی را در بخش کودهای شیمیایی مصرف کردند. Soltani *et al.* (2013) نیز مصرف سوخت را در ۶ پیش فرض (سناریوی) مختلف کشت گندم در استان گلستان ارزیابی نمودند. ایشان دریافتند که از ۵۳ تا ۱۲۳ لیتر سوخت برای کشت یک هکتار گندم نیاز است. مجموع آماده‌سازی زمین و کاشت در همه‌ی سناریوهای مورد بررسی سهم بیشتری در مصرف سوخت داشت به طوری‌که تا ۶۱ درصد از مجموع مصرف سوخت را به خود اختصاص داد. بنابراین آنان تمرکز بر کاهش مصرف سوخت در بخش آماده‌سازی زمین را یکی از روش‌های کاهش مصرف سوخت در کل تولید گندم دیم و آبی دانستند. همچنین دریافتند که کمبود تراکتورهای سنگین و دارای توان بالا و نبود ادواتی که بتوانند در پسماند محصول پیشین به آماده‌سازی زمین بپردازند باعث شده است تا کشاورزان در بیشتر موارد از گاواهن برگردان‌دار به همراه چندین بار دیسک‌زنی برای خاک‌ورزی اولیه و ثانویه استفاده کنند. آنان همچنین گزارش کردند که با مدیریت بهتر کشتزارهای از نظر کاهش مصرف کود نیتروژنی و

بررسی شاخص‌های آن. ۳- تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر مرحله از عملیات تولید و بررسی شاخص‌های آن.

مواد و روش‌ها

گردآوری داده‌ها

برای بررسی مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در محصول گندم در کل استان گلستان تعداد ۱۴۰ کشتزار برای گندم از طریق نمونه‌برداری سیستماتیک-تصادفی در نظر گرفته شد بدین صورت که تعداد نمونه‌ها بر مبنای اهمیت و سطح زیر کشت در هر شهرستان مشخص شده و سپس این شمار کشتزار در هر شهرستان به صورت تصادفی انتخاب شد. برای ارزیابی محصول گندم، یادداشت‌برداری در شهرستان‌های استان شامل گرگان، علی‌آباد، گنبد، رامیان، آزادشهر، خان‌بین، گالیکش، مینودشت، کلالة، مراوه تپه، آق‌قلا، بندرترکمن، بندرگز و کردکوی صورت پذیرفت. داده‌ها از طریق مصاحبه چهره به چهره با کشاورزان و یادداشت برداری از عملیات مختلف زراعی گردآوری شد. این عملیات شامل استفاده از انواع ادوات شخم، زیرشکن، دیسک، کولتیواتور، هرس، لولر، نهرکن و غیره در تهیه زمین، کاشت بذر شامل استفاده از بذرکار سانتریفیوژ، ردیف کار، عمیق کار، خطی کار، کمبینات و دست‌پاش، کوددهی شامل استفاده از کود پایه و سرک توسط کودپاش‌های سانتریفیوژ، همراه با کشت و یا پخش توسط دست، حفاظت گیاهان شامل استفاده از سمپاش‌های تراکتوری، توربولاینر، بوم و نیروی مکانیکی، آبیاری کشتزارها بر مبنای نوع چاه‌ها و سامانه‌های آبیاری سنتی و تحت فشار، برداشت توسط کمباین و یا استفاده از نیروی انسانی می‌باشد. در این کشتزارها اطلاعات مربوط به مدت زمان عملیات زراعی، میزان سوخت مصرفی برای هر یک از عملیات زراعی در هکتار، ماشین‌های مورد استفاده و توان آن‌ها، تعداد بارهای هر یک از عملیات، رقم و میزان بذر مصرفی، نوع کودهای شیمیایی و آلی مصرفی، نوع سموم مصرفی برای دفع علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها، روش‌های آبیاری، نوع سوخت مصرفی برای انجام آبیاری (دیزلی یا الکتریسته) و در نهایت عملکرد دانه گندم ثبت شد. همچنین اطلاعاتی شامل سطح زیر کشت و نوع محصول کشت شده پیش از محصول گندم در هر کشتزار ثبت شد.

ورودی به کشت بوم‌ها دارا باشد، موضوعی که خود باعث افزایش مصرف انرژی در واحد سطح و همچنین کاهش کارایی و بهره‌وری انرژی شده است (Alipour et al., 2014).

در مطالعه ای دیگر که به ارزیابی کارایی مصرف انرژی در نظام‌های تولید خربزه و پنبه در شهرستان تربت جام پرداختند و دریافتند که کل انرژی مصرفی در تولید خربزه و پنبه به ترتیب ۱۳۵۳۸۲ و ۹۸۴۹۴ مگاژول در هکتار بود که بیشترین سهم را به ترتیل استفاده از الکتریسته، آب آبیاری، کودهای شیمیایی و سوخت هاس فسیلی داشتند (Asgharipour and Jamiolahmadi, 2016).

نوع ادوات به کار رفته نیز بر میزان مصرف سوخت اثر دارد به طوری که مصرف سوخت برای گاواهن برگردان‌دار در رطوبت‌های مختلف از ۱۵ تا ۱۷ لیتر و برای گاواهن قلمی، ۱۱ لیتر در هکتار گزارش شد. بنابراین کاربرد گاواهن قلمی نسبت به گاواهن برگردان‌دار موجب ذخیره سوخت تا ۶ لیتر در هکتار شد (Roosbeh et al., 2002). Safa et al. (2010) در تولید گندم در نیوزلند مصرف سوخت را برای برخی از ادوات کشاورزی گزارش کردند. آنان مصرف سوخت را برای گاواهن برگردان‌دار (۲۵-۱۸ لیتر در هکتار)، گاواهن قلمی (۱۳ لیتر در هکتار)، دیسک سنگین (۹-۱۳ لیتر در هکتار)، کولتیواتور (۱۳-۴ لیتر در هکتار)، خاک‌ورز مرکب (۲۴ لیتر در هکتار)، سم‌پاش بوم‌دار (۳-۱ لیتر در هکتار)، خطی کار (۱۰-۳/۲ لیتر در هکتار)، کودپاش کود شیمیایی (۳-۱/۹ لیتر در هکتار) و کمباین را ۱۱-۱۸ لیتر در هکتار بیان کردند. همچنین دریافتند که با افزایش سن تراکتور کارایی مصرف سوخت نیز کاهش می‌یابد. برخی پیشنهادها را نیز به منظور کاهش مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ارایه داده‌اند که بدین شرح است. ۱- استفاده از دنده مناسب با توجه به سرعت تراکتور. ۲- نگهداری و بازرسی مرتب تراکتور. ۳- تنظیم باد تایرها و استفاده از اندازه تایر مناسب. ۴- استفاده از تراکتور متناسب با نوع عملیات در کشتزار. ۵- استفاده از بهترین عمق کار ادوات متصل به تراکتور.

بنابراین به منظور بررسی چگونگی کاهش مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر هکتار از زمین‌های زیر کشت گندم هدف‌های زیر مد نظر قرار گرفت: ۱- تعیین میزان مصرف سوخت در هر مرحله از عملیات تولید. ۲- تعیین میزان مصرف انرژی در هر مرحله از عملیات تولید و

FH: سوخت مورد نیاز ماشین‌ها در یک ساعت انجام عملیات (لیتر بر ساعت) می‌باشد. برای محاسبه انرژی از ضرایب تبدیل میزان سوخت به انرژی مصرفی استفاده شد (جدول ۱) بدین صورت که پس از محاسبه میزان مصرف سوخت برای هر مرحله از عملیات زراعی با ضرب در ضریب مربوط به آن میزان انرژی مصرفی محاسبه شد.

انرژی استفاده از الکتریسیته

میزان مصرف سوخت الکتریسیته برای پمپاژ آب بر مبنای کارکرد کنتور چاه‌های کشتزار در مدت زمان اجرای عملیات آبیاری بر حسب کیلووات ساعت اندازه‌گیری شد. برای محاسبه میزان انرژی مصرفی در بخش استفاده از نیروی الکتریسیته از رابطه زیر استفاده شد.

$$EIE = t \times P \times UE \quad (2)$$

که در آن EIE: میزان انرژی ناشی از مصرف الکتریسیته بر حسب مگاژول در هکتار، t: مدت زمان استفاده از الکتروموتور بر حسب ساعت در هکتار، P: توان الکتروموتور بر حسب کیلووات ساعت، UE: معادل هر کیلووات ساعت انرژی بر حسب مگاژول (جدول ۱).

انرژی استفاده از نیروی انسانی

برای محاسبه میزان مصرف انرژی از طریق استفاده از نیروی انسانی، در آغاز ساعت‌های کار کارگران در کشتزار بر حسب ساعت در هکتار تعیین شد. آن‌گاه حاصل ضرب میزان زمان استفاده از نیروی انسانی در انرژی مصرفی برای یک ساعت کار در کشتزارها محاسبه شد. (جدول ۱) لازم به یادآوری است که مدت زمان کار رانندگان ماشین‌های کشاورزی نیز در محاسبه بالا لحاظ شده است.

انرژی استفاده از ادوات ماشین‌ها

انرژی کاربرد ماشین‌ها و ادوات برابر رابطه زیر محاسبه خواهد گردید:

$$EM = \left(E * \frac{W}{Lt} \right) \times t \quad (3)$$

که در آن EM: انرژی کاربرد ماشین‌ها و ادوات برای انجام عملیات زراعی (مگاژول در هکتار)، E: انرژی برای ساخت، تعمیر و نگهداری و حمل و نقل ماشین‌ها و ادوات (مگاژول بر کیلوگرم)، W: وزن ادوات و ماشین‌ها (کیلوگرم)، Lt: عمر مفید ادوات و ماشین‌ها (ساعت)، t: مدت زمان کاربرد ادوات و ماشین‌ها (ساعت در هکتار) است. E: عدد ثابت و معادل ۱۴۲/۷ مگاژول بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۱) که شامل ۶۸/۳۸ مگاژول بر کیلوگرم برای ساخت، ۴۷/۵ مگاژول بر کیلوگرم برای تعمیر و نگهداری و ۸/۸ مگاژول بر کیلوگرم

پس از ثبت همه‌ی سنجه‌ها (پارامتر)های در هر کشتزار، اطلاعات به دست آمده از نظر جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از صفحه گستر اکسل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

محاسبه جریان انرژی

جریان انرژی در کشتزار را می‌توان به دو بخش انرژی‌های ورودی و انرژی‌های خروجی تقسیم‌بندی کرد که در بیشتر بررسی‌ها انرژی‌های ورودی (مصرفی) به دو بخش انرژی مستقیم و انرژی غیر مستقیم طبقه‌بندی می‌شود (Tzivilakis et al., 2005; Rathke et al., 2007; Tipi et al., 2009; Kaltsas et al., 2007).

انرژی مستقیم شامل: سوخت مورد نیاز تراکتور و کمباین به عنوان کشنده برای عملیات مختلف زراعی شامل آماده‌سازی زمین، کاشت، کوددهی، حفاظت گیاهی، برداشت و آبیاری. نیروی الکتریسیته برای پمپاژ آب. استفاده از نیروی انسانی (کارگری) برای انجام هر یک از عملیات زراعی.

انرژی غیر مستقیم شامل: انرژی مصرفی برای تولید، انبارداری و حمل و نقل کودهای شیمیایی، انرژی مصرفی برای تولید، انبارداری و حمل و نقل سموم شیمیایی، انرژی مورد استفاده به منظور ساخت، تعمیر و نگهداری ادوات و ماشین‌های کشاورزی، انرژی موجود در بذر و همچنین انرژی مورد نیاز برای بوجاری، بسته‌بندی و انبارداری آن (Tzivilakis et al., 2005; Rathke et al., 2007). برای محاسبه انرژی ورودی در کشتزار در آغاز انرژی نهاده‌های مصرف شده در هر کشتزار بر مبنای مگاژول بر هکتار به صورت زیر محاسبه شد.

انرژی سوخت مصرفی

برای محاسبه سوخت مصرفی با آغاز هر عملیات مدت زمان کارکرد ماشین‌های مختلف در هر کشتزار از آغاز تا پایان مرحله‌های تولید هر محصول به طور جداگانه ثبت شد. سپس با توجه به تجربه کاری نیروی انسانی ماشین‌ها و ادوات در طی سال‌های گذشته میزان سوخت مصرفی بر مبنای رابطه زیر محاسبه شد.

$$FT = t \times FH \quad (1)$$

که در آن FT: سوخت مورد نیاز برای انجام عملیات زراعی در سطح یک هکتار (لیتر بر هکتار)، t: مدت زمان کارکرد ماشین‌ها

مشخص شد. در مرحله بعد انرژی هر کیلوگرم بذر مصرفی از منبع‌های مختلف تعیین شد (جدول ۱). سپس از حاصلضرب دو فراسنجه یاد شده میزان انرژی مصرفی بذور به کار رفته در کشتزارها برای تولید هر محصول محاسبه شد.

محاسبه انرژی خروجی

در مرحله نهایی پس از برداشت هر محصول میزان جزء اقتصادی هر محصول که در بازار به فروش می‌رسد و یا مورد استفاده دام و طیور قرار می‌گیرد تعیین شد. سپس با استفاده از ضریب‌های مربوط به هر محصول میزان انرژی هر کیلوگرم محصول به دست آمده محاسبه شد (جدول ۱). لازم به یادآوری است که جزء اقتصادی محصول گندم دانه و کاه و کلش آن بوده است.

محاسبه شاخص‌های انرژی

برای محاسبه هر یک از شاخص‌های انرژی از رابطه‌های زیر استفاده شد: (Soltani et al., 2013).

$$ER = EO/EI \quad (۴)$$

که در این رابطه: ER شاخص کارایی مصرف انرژی که عددی است بدون واحد یا برحسب گیگاژول بر گیگاژول در هکتار؛

EO مجموع انرژی‌های خروجی از مزرعه بر حسب گیگاژول در هکتار؛ EI مجموع انرژی‌های ورودی به کشتزار بر حسب گیگاژول در هکتار.

$$EP = GY/EI \quad (۵)$$

که در این رابطه، EP شاخص بهره‌وری انرژی بر حسب تن بر گیگاژول؛ GY عملکرد دانه بر حسب تن در هکتار؛ EI مجموع انرژی‌های ورودی به کشتزار بر حسب گیگاژول در هکتار می‌باشد.

$$SE = EI/GY \quad (۶)$$

که در این رابطه SE شاخص انرژی ویژه بر حسب گیگاژول بر تن؛ EI مجموع انرژی‌های ورودی به کشتزار بر حسب گیگاژول در هکتار؛ GY عملکرد دانه بر حسب تن در هکتار می‌باشد.

$$NEY = EO - EI \quad (۷)$$

NEY شاخص عملکرد انرژی خالص بر حسب گیگاژول در هکتار؛ EO مجموع انرژی‌های خروجی از کشتزار بر حسب گیگاژول در هکتار؛ EI مجموع انرژی‌های ورودی به کشتزار بر حسب گیگاژول در هکتار می‌باشد.

برای حمل و نقل ادوات مورد استفاده در کشتزار می‌باشد (Kaltsas et al., 2007).

انرژی استفاده از سموم

به منظور ارزیابی مصرف انرژی در بخش استفاده از سم‌های شیمیایی در محصول‌های مختلف، درصد ماده مؤثره هر یک از سم‌های مصرفی از طریق اطلاعات روی برچسب‌های بسته‌بندی آن‌ها و یا از طریق مصاحبه با فروشندگان و استفاده از منبع‌ها اطلاعاتی همچون کتاب‌های مربوط به سم‌های و اینترنت مشخص شد. همچنین برای سم‌های مایع وزن مخصوص آن‌ها نیز تعیین شد. سپس از حاصل ضرب وزن مخصوص در درصد ماده مؤثره میزان وزن خالص مورد استفاده در کشتزارها به دست آمده و بر مبنای میزان انرژی مصرفی برای تولید هر یک از سم‌های، میزان انرژی کل مصرفی برای هر یک از سم‌های قارچ‌کش، حشره‌کش و علف‌کش محاسبه شد (جدول ۱). میزان مصرف انرژی در تهیه سم‌های علف‌کش بستگی به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ترمودینامیکی علف‌کش دارد که بسیار پیچیده است. همچنین فرمولاسیون کردن علف‌کش نیز نیاز به انرژی است که به‌طور عمده ۲۰ مگاژول بر کیلوگرم به انرژی مصرفی می‌افزاید. همچنین انتقال علف‌کش‌ها به مکان مصرف آن‌ها نیز نیازمند مصرف انرژی است که شایان ملاحظه نمی‌باشد و به‌طور عمده غیرمعنی‌دار در نظر گرفته می‌شود (Clements et al., 2005).

انرژی استفاده از کودهای شیمیایی

به منظور ارزیابی مصرف انرژی در بخش استفاده از کودهای شیمیایی در محصول‌های مختلف، در آغاز نوع کود مصرفی و آن‌گاه میزان مصرف آن ثبت شد. در مرحله بعد میزان ماده اصلی کود بر مبنای عنصرهای نیتروژن (N)، فسفر (P_2O_5) و پتاسیم (K_2O) و گوگرد (S) موجود در هر یک از کودهای مصرفی باتوجه به منبع‌های موجود و اطلاعات مربوط به تولید آن‌ها مشخص شد. حاصل ضرب میزان کود مصرفی در میزان ماده اصلی کود (N، P_2O_5 ، K_2O ، S) بیانگر میزان مصرف ماده اصلی در هر کود است. سپس با در نظر گرفتن میزان انرژی مربوط به ساخت هر یک از مواد اصلی میزان انرژی مصرفی کل با ضرب آن در میزان ماده اصلی به کار برده شده محاسبه شد (جدول ۱).

انرژی استفاده از بذر

برای ارزیابی انرژی استفاده از بذر در محصول‌های مختلف در آغاز میزان مصرف بذر در هر هکتار بر حسب کیلوگرم

جدول ۱- معادل‌های انرژی برای ورودی‌های مورد استفاده و خروجی‌های به دست آمده در تولید گندم.

Table 1. Energy contents for inputs and outputs in wheat production.

منبع	انرژی	واحد	نهادها
Reference	Energy (MJ/unit)	Unit	Inputs
Ozkan <i>et al.</i> , 2004; Turhan <i>et al.</i> , 2008	1.96	h	نیروی انسانی Human labor
Pimental and Pimental 2008	30.50	kg	بذر گندم Wheat seed
Kaltas <i>et al.</i> , 2007	142.70	kg	ماشین آلات Machinery*
Akcaoz <i>et al.</i> , 2009; Ozkan <i>et al.</i> , 2004	60.60	kg N	کودهای حاوی نیتروژن N fertilizers
Akcaoz <i>et al.</i> , 2009; Ozkan <i>et al.</i> , 2004	6.70	kg P ₂ O ₅	کودهای حاوی فسفر P fertilizers
Akcaoz <i>et al.</i> , 2009; Ozkan <i>et al.</i> , 2004	11.10	kg K ₂ O	کودهای حاوی پتاسیم K fertilizers
IIES, 2007	38	L	سوخت فسیلی Diesel
Pimental and Pimental 2008	3.6	kWh	الکتریسیته Electricity
Alimagham <i>et al.</i> , 2017	9.86	kWh	هدررفت الکتریسیته Electricity losses
Tzilivakis <i>et al.</i> , 2005; Rathke and Diepenbrock, 2006	237.00	kg active ingredient	حشره کش Insecticide
Tzilivakis <i>et al.</i> , 2005; Rathke and Diepenbrock, 2006	278.00	kg active ingredient	علف کش Herbicide
Strapatsa, 2006		kg active ingredient	قارچ کش Fungicide
Tipi <i>et al.</i> , 2009; Singh <i>et al.</i> , 2007	14.70	kg	خروجی ها Output
Tabatabaefar <i>et al.</i> , 2009	9.25	kg	دانه گندم Wheat grain
			کاه گندم Wheat straw

انتشار گازهای گلخانه‌ای

به منظور بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای^۱ از شاخص پتانسیل گرمایش جهانی استفاده شد. این شاخص عبارت از مجموع گازهای گلخانه‌ای تولید شده می‌باشد که به صورت معادل دی‌اکسید کربن بیان می‌شود (IPCC, 1996). در این تحقیق برای محاسبه GWP، انتشار سه گاز گلخانه‌ای CO₂، CH₄ و N₂O ناشی از مصرف انرژی برای تولید نهاده‌های کشاورزی و انجام عملیات مختلف زراعی مد نظر قرار گرفت. نهاده‌ها و عملیات مورد نظر شامل: تولید، بسته‌بندی و انبارداری کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، سموم علف‌کش و حشره‌کش، مصرف سوخت‌های فسیلی برای انجام عملیات

زراعی، مصرف الکتریسیته برای پمپاژ آب به سطح زمین، تولید و نگهداری ماشین‌های کشاورزی بودند.

GWP طی مرحله‌های زیر محاسبه شد: (Soltani *et al.*, 2013).

معادل انرژی مصرف شده برای تولید، حمل و نقل و انجام هر یک از نهاده‌ها و عملیات یاد شده در بالا محاسبه شد. برای هر نهاده و عملیات میزان مصرف انرژی از منابع‌های مختلف یعنی الکتریسیته، گاز طبیعی، گازوئیل، روغن و نفت با لحاظ نسبت هر یک از این انرژی‌ها محاسبه شد. با مشخص شدن میزان انرژی از هر یک از منابع‌های یاد شده میزان سه گاز گلخانه‌ای CO₂، CH₄ و N₂O تولید

¹ Global Warming Potential (GWP)

بررسی نتایج مصرف انرژی در بخش کودهای شیمیایی نشان داد که در تولید گندم به طور میانگین $5660 \pm 82/35$ مگاژول در هکتار انرژی صرف شد که ۹۰ درصد آن متعلق به کاربرد کودهای نیتروژنی بود. کاربرد کودهای شیمیایی باعث انتشار $473/91 \pm 10$ معادل دی اکسیدکربن در هکتار گازهای گلخانه‌ای می‌شود که همانند بخش انرژی، بیشترین انتشار با کارکرد کودهای نیتروژنی همراه بود. همان طور که از جدول ۴ مشاهده می‌شود دیگر کودهای شیمیایی نقش کمتری را در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشتند. از آنجایی که کاربرد کودهای نیتروژنی ۳۲ درصد مسئول مصرف انرژی و ۲۹ درصد عامل انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند، بنابراین توجه به کاهش کاربرد این نوع کودها نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم دارد. در نتایج بررسی‌های Soltani *et al.* (2013) میزان مصرف انرژی سناریوی به نسبت با روش‌های تولید گندم کشاورزان در شهرستان گرگان 6572 مگاژول در هکتار گزارش شد که به نسبت همسان با میزان گزارش شده در این تحقیق بوده است. همچنین به طور میانگین در همه‌ی سناریوهای مورد بررسی، کاربرد کودهای نیتروژنی $38/2$ درصد از مجموع کل انرژی مصرفی را تشکیل داد. Mollayi and Afzalnia (2012) نیز در بررسی‌های خود دریافتند که کاربرد کودهای نیتروژنی و سوخت فسیلی بالاترین سهم مصرف انرژی (۴۹ درصد) را در تولید گندم در استان فارس به خود اختصاص داد. Safa and Samarasinghe (2012) برای کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنی در تولید گندم در نیوزلند، مدیریت بهتر کشتزارها در کاربرد کودهای نیتروژنی و به کارگیری تناوب زراعی درست را از جمله عامل‌های کاهش کاربرد کود و به دنبال آن کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای دانستند. همچنین از آنجایی که نه تنها مصرف مستقیم کودهای شیمیایی بلکه تولید، بسته بندی و حمل و نقل آن‌ها موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، توجه به روش‌های تولید با کارایی بالاتر و مصرف کمتر سوخت و انرژی، تکنیک‌های کاربرد کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنی مانند مصرف به روش تقسیط و در زمان مناسب رشد محصولات زراعی و تولید کودهای شیمیایی که کارایی بالاتری در جذب و عدم آبشویی دارند، استفاده از بازدارنده‌های نیترات سازی (نیتریفیکاسیون) و

ناشی از آن‌ها از حاصل ضرب میزان انرژی مصرفی و ضریب-های تولید هر گاز به ازای هر ژول انرژی مصرفی از هر منبع محاسبه شد.

با توجه به توان متفاوت گازهای CH_4 و N_2O در ایجاد گرمایش جهانی (هر کیلوگرم CH_4 و N_2O به ترتیب معادل ۳۱۰ و ۲۱ کیلوگرم CO_2 اثرگذاری‌های گلخانه‌ای دارند. کل گازهای گلخانه‌ای تولیدی به صورت CO_2 محاسبه شدند.

پس از محاسبه GWP کل، GWP در واحد سطح (کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار)، واحد وزن محصول تولیدی (کیلوگرم معادل CO_2 در تن محصول گندم)، در واحد انرژی ورودی (کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول) و در واحد انرژی خروجی (کیلوگرم معادل CO_2 در گیگاژول) نیز محاسبه شد.

نتایج و بحث

مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از نهاده‌ها

در تولید هر هکتار از کشتزارها گندم، میزان نهاده‌های مصرفی، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کاربرد نهاده‌ها در جدول‌های ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود انرژی ناشی از کودهای شیمیایی و آلی، سوخت فسیلی برای عملیات زراعی و آبیاری، بذر مصرفی، کاربرد ماشین‌ها، سموم، الکتریسیته و نیروی انسانی به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان انرژی مصرف شده را نشان دادند (جدول ۳) به طوری که کاربرد کودهای شیمیایی و آلی و سوخت فسیلی در کل ۷۰ درصد از مصرف انرژی را در پی داشتند. بر همین مبنا بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای متعلق به کاربرد کود و سوخت فسیلی بود که در ادامه استفاده از ماشین‌ها، سم‌ها و الکتریسیته در رده‌های بعدی قرار داشتند (جدول ۴).

بنابراین نتایج میزان انرژی مصرفی برای نهاده بذر از ۲۱۹۸ تا 4082 مگاژول در هکتار متغیر بود. ۲۰ درصد از مصرف انرژی کل برای تولید گندم مربوط به مصرف بذر است، بنابراین تا آنجایی که امکان دارد باید از مصرف غیر ضروری بذر برای تولید گندم پرهیز نمود. استفاده از کمبینات برای کاشت گندم کمترین میزان مصرف بذر و استفاده از بذریاش سانتریفیوژ بیشترین مصرف بذر را نشان داد. بنابراین با استفاده از ادوات جدید مانند کمبینات می‌توان در مصرف بذر و ورود انرژی و هزینه‌های غیر ضروری به مزرعه صرفه جویی کرد.

کودهای شیمیایی می‌باشند. ضمن اینکه محتوی انرژی کودهای دامی می‌تواند تا ۳۴ درصد در مصرف انرژی برای تولید محصولات مختلف کاهش به همراه داشته باشد (Mc Laughlin *et al.*, 1997).

انرژی مصرفی در بخش استفاده از سم‌ها برای مهار علف‌های هرز در تولید گندم به طور میانگین $204/48 \pm 0/08$ مگاژول در هکتار ارزیابی شد که ۹۵ درصد از کشاورزان از این نوع سم‌ها استفاده کرده بودند. در کشتزارهایی که از بیشترین مصرف انرژی ناشی از سم‌های شیمیایی را داشتند به طور عمده از چند مرحله قارچ‌کش تیلت و استفاده از قارچ‌کش‌های آلتو ۱۰۰ و آلتوکمبی و به جای دیگر قارچ‌کش‌ها استفاده کردند. همچنین استفاده از علف‌کش

تجزیه اوره، مدیریت درست آبیاری و انجام آن در زمان مناسب همراه با به کارگیری کودهای شیمیایی، نمونه‌گیری خاک پیش از کشت و تعیین دقیق نیاز گیاه و اصلاح و انتخاب گیاهانی با نیاز کودی کمتر می‌تواند در کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی به ویژه کود نیتروژنی مؤثر باشد (Pimental and Pimental 2008, Nemecek *et al.*, 2008; Ahmadi and Aghajani, 2012). بنابراین کارایی کاربرد از کودهای شیمیایی همبستگی بسیار بالایی با نحوه مصرف آن دارد تا اینکه به میزان مصرف آن بستگی داشته باشد. به طوری که با کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌توان از کاهش عملکرد محصول نکاست (Manos *et al.*, 2007). همچنین کودهای دامی جانشین بسیار مناسبی برای

جدول ۲- میزان نهاده‌های مصرف شده و عملکرد به دست آمده در تولید گندم در استان گلستان.

Table 2. Energy inputs and outputs for wheat production in Golestan province, Iran.

ورودی ها Inputs	واحد Unit	Mean \pm sd
N	Kg.ha ⁻¹	84.50 \pm 0.50
P	Kg.ha ⁻¹	43.31 \pm 0.03
K	Kg.ha ⁻¹	4.30 \pm 0.02
S	Kg.ha ⁻¹	12.89 \pm 0.04
علف کش Herbicide	Kg active ingredient.ha ⁻¹	0.71 \pm 0.01
حشره کش Insecticide	Kg active ingredient.ha ⁻¹	0.28 \pm 0.00
قارچ کش Fungicide	Kg active ingredient.ha ⁻¹	0.32 \pm 0.00
بذر Seed	Kg.ha ⁻¹	200.11 \pm 0.04
ماشین آلات Machinery	h.ha ⁻¹	24.03 \pm 0.10
سوخت فسیلی برای عملیات زراعی Fossil fuel for farming operations	l.ha ⁻¹	112.54 \pm 0.04
سوخت فسیلی برای آبیاری Fossil fuel for irrigation	l.ha ⁻¹	10.46 \pm 0.11
مجموع سوخت فسیلی Total fossil fuel	l.ha ⁻¹	123.00 \pm 0.23
الکتریسیته Electricity	kWh.ha ⁻¹	69.40 \pm 0.09
نیروی انسانی Human labor	h.ha ⁻¹	29.57 \pm 0.03
خروجی ها Outputs		
دانه گندم Wheat grain	Kg	3417.86 \pm 0.21
کاه گندم Wheat straw	Kg	4182.86 \pm 0.24

جدول ۳- میزان‌های مصرف انرژی بر حسب مگاژول در هکتار ناشی از نهاده‌ها و بخش‌های مختلف تولید گندم در استان گلستان.

Table 3. Energy inputs (MJ ha⁻¹) for wheat production in Golestan province, Iran.

ورودی‌ها Inputs	Mean±sd	درصد از کل Percent of total
N	5120.76±0.57	31.54
P	480.75±0.11	2.96
K	59.32±0.10	0.36
S	19.68±0.08	0.12
مجموع کودهای مصرفی Total fertilizers	5660.83±0.35	34.88
علف کش Herbicide	204.48±0.08	1.26
حشره کش Insecticide	66.16±0.07	0.41
قارچ کش Fungicide	31.77±0.04	0.20
مجموع آفت کش‌ها Total pesticide	302.41±0.10	1.86
بذر Seed	3141.68±0.14	19.36
ماشین آلات Machinery	958.78±0.10	5.91
سوخت فسیلی برای عملیات زراعی Fossil fuel for farming operations	4276.35±0.22	26.35
سوخت فسیلی برای آبیاری Fossil fuel for irrigation	899.25±0.27	5.54
مجموع سوخت فسیلی Total fossil fuel	5175.60±0.22	31.89
الکتریسیته Electricity	934.14±0.78	5.76
نیروی انسانی Human labor	57.95±0.05	0.36
مجموع نهاده‌ها Total inputs	16231.04±0.34	100

در هکتار گازوئیل و ۶۹/۴۰±۰/۰۹ کیلووات ساعت الکتریسیته نیاز است (جدول ۲). این نیروی الکتریسیته صرف پمپاژ آب آبیاری از اعماق مختلف چاه‌های کشاورزی می‌شود.

بررسی‌های مختلف میزان متفاوتی را در مصرف سوخت برای تولید هر هکتار گندم گزارش کرده‌اند، این میزان عبارت‌اند از: ۹۲ لیتر (Soltani *et al.*, 2013)، ۱۲۶ لیتر (Taghavifar and Mollayi and Afzalnia, 2012)، ۱۲۵/۶ (Mardani, 2015)، ۶۵ لیتر (Wang *et al.*, 2014)، همچنین تقوی‌فر و مردانی (Taghavifar and Mardani, 2015) نیز میزان مصرف الکتریسیته را برای آبیاری هر هکتار گندم ۷۰/۴۹ کیلووات ساعت و (Mohammadi *et al.*, 2014) این میزان

آتلانتیس و برومایسید و حشره‌کش دیازینون نیز بر مصرف انرژی ناشی از سم‌های شیمیایی افزود. استفاده از حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها به ترتیب ۶۷ و ۸۴ درصد کمتر از مصرف علف‌کش‌ها انتشار گازهای گلخانه‌ای در پی داشت. برخی از پژوهشگران گزارش نمودند که با به کارگیری روش‌های طبیعی در مهار آفات و بیماری‌های گیاهی می‌توان مصرف سم‌های کشاورزی را تا حد شایان توجهی کاهش داد. این روش‌ها شامل: افزایش ژن‌های مقاومت گیاهان زراعی نسبت به آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، تقویت دشمنان طبیعی آن‌ها و به کارگیری تناوب درست زراعی می‌باشند (Pimental and Pimental 2008; Safa and Samarasinghe, 2012; Kitani, 1999).

در مجموع برای تولید هر هکتار گندم به ۱۲۳±۰/۰۴ لیتر

کوددهی با ۲ درصد کمترین سهم در استفاده از انرژی ماشین‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از آن را نشان داد. برداشت محصول، حفاظت گیاهی، کاشت و آبیاری نیز به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان کاربرد انرژی ماشین‌ها و ادوات و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از آن را پس از آماده‌سازی زمین داشتند. برای تولید هر هکتار گندم به طور میانگین $57/50 \pm 0/10$ مگاژول در هکتار به انرژی کارگری نیاز است که بیشترین آن $243/04$ و کمترین آن $10/11$ مگاژول در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). عملیات آبیاری بیشترین و کاشت کمترین نیاز به انرژی کارگری را داشت.

مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در عملیات مختلف زراعی

از مجموع $123 \pm 0/04$ لیتر در هکتار گازوئیل مصرف شده در تولید گندم، آماده‌سازی زمین نزدیک به نیمی از آن را با میزان $54 \pm 0/03$ لیتر در هکتار را مصرف کرد (جدول ۵).

را 209 کیلووات ساعت گزارش نمودند. ۳۲ درصد از مصرف انرژی ناشی از نهاده‌ها به سوخت اختصاص یافت که ۴ درصد از آن برای انجام عملیات آبیاری و ۲۸ درصد آن برای انجام عملیات مختلف زراعی که صرف راندن تراکتورها می‌شود به کار گرفته شد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت نیز $460/06 \pm 0/15$ کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن ارزیابی شد که Safa and Samarasinghe (2012) این میزان را 203 و Mohammadi *et al.* (2014) نیز $455/2$ کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن در هکتار در تولید گندم گزارش کردند.

در مجموع برای تولید هر هکتار گندم $958/78 \pm 0/10$ مگاژول در هکتار انرژی ماشین‌ها به کار برده شد که در بیشترین میزان آن $1781/76$ و در کمترین میزان آن $439/56$ مگاژول در هکتار گزارش شد که این انرژی برای تولید، تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات به مصرف می‌رسد (جدول ۳). آماده‌سازی زمین با ۳۸ درصد بیشترین و

جدول ۴- میزان‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای برحسب کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار برای بخش‌های مختلف تولید گندم.

Table 4. GHG emissions (kg eq-CO₂ ha⁻¹) for wheat production in Golestan province, Iran.

ورودی‌ها Inputs	Mean±sd	درصد از کل Percent of total
N	410.17±0.10	29.00
P	39.42±0.03	2.79
K	2.37±0.02	0.17
S	21.95±0.06	1.55
مجموع کودهای مصرفی Total fertilizers	473.91±0.10	33.52
علف کش Herbicide	32.94±0.02	2.33
حشره کش Insecticide	10.66±0.03	0.75
قارچ کش Fungicide	5.12±0.02	0.36
مجموع آفت کش‌ها Total pesticide	48.72±0.04	3.44
ماشین آلات Machinery	216.67±0.07	15.32
سوخت فسیلی برای عملیات زراعی Fossil fuel for farming operations	333.69±0.07	23.60
سوخت فسیلی برای آبیاری Fossil fuel for irrigation	70.122±0.13	4.96
مجموع سوخت فسیلی Total fossil fuel	403.81±0.09	28.56
الکتریسیته Electricity	270.90±0.15	19.16
مجموع نهاده‌ها Total inputs	1414.01±3.17	100

از گاواهن برگردان‌دار یکی از هزینه‌برترین، پیچیده‌ترین و کم‌سرعت‌ترین سامانه‌های خاک‌ورزی است و به طور معنی‌داری نیاز به مصرف انرژی و نیروی کارگری را افزایش می‌دهد. (Arvidsson 2010) دریافت که برای آماده‌سازی زمین، میزان مصرف سوخت برای استفاده از گاواهن برگردان‌دار نزدیک به دو برابر میزان سوخت مصرفی در زمانی است که تنها از دیسک برای خاک‌ورزی استفاده می‌شود.

۲. در گروه اول تنها ۴۰ درصد از کشاورزان از دیسک تاندوم سبک با ۲۸ واحد کار برای عملیات دیسک‌زنی استفاده کردند که استفاده از این دستگاه در گروه دوم به ۸۴ درصد رسید. در گروه اول ۳۵ درصد از کشاورزان از دیسک‌های تاندوم سنگین و افست که دارای عرض کار و عمق نفوذ بیشتری هستند استفاده کردند که این میزان در گروه دوم به ۱۵ درصد رسید. کاربرد دیسک‌های تاندوم سنگین و افست باعث می‌گردد تا مدت زمان آماده‌سازی زمین از یک سو و از سوی دیگر شمار بارهای دیسک‌زنی نیز کاهش یابد. همچنین ۴۰ درصد از کشاورزانی که از این ادوات برای انجام عملیات دیسک‌زنی استفاده کردند از هیچ گونه خاک‌ورزی اولیه استفاده نکرده و همین مسئله نیز باعث شد مصرف سوخت و انرژی ناشی و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از آن کاهش یابد.

۳. شمار بارهای دیسک‌زنی در گروه اول $2/12 \pm 0/06$ و در گروه دوم $3/39 \pm 0/07$ بار در هر هکتار ثبت شد. افزایش ۳۷ درصدی شمار بارهای دیسک‌زنی در کشتزارهای کشاورزان گروه اول نسبت به گروه دوم باعث افزایش مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای شد. کاهش شمار بارهای دیسک‌زنی در گروه اول نسبت به گروه دوم را می‌توان به دلیل کاربرد دیسک‌های تاندوم سنگین و افست و استفاده از گاواهن قلمی و کولتیواتور به جای گاواهن برگردان‌دار دانست به‌طوری‌که بنابر نتایج شمار بارهای دیسک‌زنی با کاربرد دیسک‌های تاندوم سنگین و افست $2/12 \pm 0/10$ و دیسک تاندوم سبک $3/10 \pm 0/15$ مشاهده شد.

۴. در گروه اول، ۳۴ درصد از کشاورزان از تراکتورهایی با توان بیشتر از ۷۵ اسب بخار برای عملیات شخم و دیسک‌زنی استفاده کردند که در مجموع مدت زمان انجام عملیات را کاهش داد، با وجود اینکه مصرف

برداشت محصول، حفاظت گیاهی، آبیاری، کاشت و کوددهی در رتبه‌های بعدی مصرف قرار داشتند. میزان‌های انرژی و گازهای گلخانه‌ای ناشی از آن نیز همین روند را نشان داد (جدول‌های ۶ و ۷). در تولید محصول‌های زراعی مختلف عملیات خاک‌ورزی زمین از پر مصرف‌ترین بخش از نظر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به شمار می‌رود به طوری‌که (Rajabi et al. 2011) نیز میزان مصرف سوخت را در بخش عملیات آماده‌سازی زمین در تولید گندم ۵۵ لیتر با مصرف ۲۰۹۱ مگاژول انرژی در هر هکتار گزارش کردند که ۶۰ درصد از مجموع مصرف سوخت و انرژی برای تولید گندم را به خود اختصاص داد. (Soni et al. 2013) در بررسی محصول‌های مختلف زراعی و باغی، مصرف سوخت را از $23/7-49/4$ لیتر در هکتار برای آماده‌سازی زمین گزارش کردند، که این میزان مصرف سوخت موجب انتشار $132-176$ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در هکتار شد. در تولید هر هکتار گندم کشاورزانی که کمتر از ۵۰ لیتر گازوئیل در هکتار برای آماده‌سازی زمین مصرف کردند (گروه اول) نسبت به دیگر کشاورزانی که بیش از ۵۰ لیتر در هکتار گازوئیل مصرف داشته‌اند (گروه دوم) دارای تفاوت‌هایی می‌باشند (شکل ۲-۴). از جمله:

۱. در ۵۸ درصد از کشتزارهای گروه اول از شخم توسط گاواهن برگردان‌دار استفاده شد. همچنین ۲۶ درصد کولتیواتور و ۷ درصد از گاواهن قلمی به کار گرفته شد. در مقابل در کشتزارهای کشاورزان گروه دوم ۸۹ درصد از گاواهن برگردان‌دار، ۱۰ درصد از کولتیواتور و از گاواهن قلمی نیز استفاده نشد. استفاده از گاواهن برگردان‌دار نسبت به گاواهن قلمی تا ۳ برابر و کولتیواتور تا ۱/۵ برابر در هر هکتار زمان نیاز دارد. بنابراین استفاده از گاواهن برگردان‌دار نسبت به گاواهن قلمی و کولتیواتور از مصرف سوخت و انرژی بیشتر و به دنبال آن انتشار بالاتر گازهای گلخانه‌ای می‌شود. (Roozbeh et al. 2002) نیاز سوختی در کشت ذرت را برای خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار از $25/8$ تا $45/7$ لیتر در هکتار و برای گاواهن قلمی و کولتیواتور $17/3$ و $20/2$ لیتر گزارش کردند. اینان همچنین اذعان داشتند که خاک‌ورزی توسط گاواهن قلمی سبب ذخیره زمانی به مدت $1/11$ ساعت در هکتار و ذخیره سوختی به میزان $6/48$ لیتر در هکتار می‌شود. (Zugec et al. 2011) تأکید کردند که سامانه خاک‌ورزی سنتی مانند استفاده

همزمان استفاده کردند که به دنبال آن از هیچ‌گونه سوخت فسیلی استفاده نکرده و در دیگر موارد از کودپاش سانتریفیوژ در کوددهی گندم استفاده کردند. اغلب کشاورزان نخستین مرحله کوددهی به صورت سرک‌پاشی را توسط ماشین بذرپاش و دیگر مرحله‌ها سرک‌پاشی را توسط روش دست‌پاش انجام دادند. از این رو به طور میانگین 0.3 ± 0.1 لیتر در هکتار گازوئیل برای گندم و 0.6 ± 0.112 مگاژول در هکتار انرژی ناشی از آن به کار برده شد (جدول‌های ۵ و ۶). از هر هکتار گندم نیز برای کوددهی 0.1 ± 0.077 کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت انتشار یافت (جدول ۷). ۹۸ درصد از کشاورزان از روش شیمیایی برای مهار آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز استفاده کردند که به طور میانگین به ازای هر هکتار تولید گندم در کل استان گلستان، 0.2 ± 0.14 لیتر گازوئیل و 0.13 ± 0.542 مگاژول در هکتار انرژی ناشی از آن به کار برده شد (جدول‌های ۵ و ۶). این میزان مصرف انرژی موجب انتشار $0.4 \pm 0.49/29$ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن شد (جدول ۷). کاربرد سم‌پاش تراکتوری شلنگ‌دار به دلیل افزایش مدت زمان سم‌پاشی نسبت به استفاده از سم‌پاش بوم و توربینی مصرف بالاتری از سوخت و انرژی ناشی از آن را نشان داد. انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز در سم‌پاش تراکتوری شلنگ‌دار نسبت به استفاده از سم‌پاش بوم و توربینی بیشتر بود.

در این پژوهش تنها ۶۰ درصد از کشاورزان کشتزارهای خود را آبیاری کردند و دیگر کشاورزان گندم را به صورت دیم به عمل آوردند. همچنین ۴۸ درصد از تولیدکنندگان گندم آبی از گازوئیل و ۵۲ درصد دیگر از الکتریسیته برای آبیاری استفاده کردند. بیشترین مصرف به موتورهای با توان اسب بخار بیشتر و کشاورزانی که بیش از ۱ مرتبه آبیاری انجام داده بودند تعلق داشت. تناسب موتور و عمق چاه، سرویس به هنگام آن و تعویض موتورهای فرسوده با موتورهای جدید و دارای بازدهی بالاتر می‌تواند در کاهش مصرف سوخت مؤثر باشد.

مصرف سوخت انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای از یک سو به دلیل استفاده از کمباین برای دروی محصول و جمع‌آوری دانه آن است و از سوی دیگر به دلیل استفاده از ماشین‌هایی مانند عدل‌بند به همراه تراکتور برای بسته‌بندی کاه گندم است که به مصرف دام می‌رسد. بنابراین به طور میانگین برای برداشت هر هکتار دانه و کاه گندم 0.1 ± 0.33 لیتر در

سوخت در هر ساعت کاربرد این نوع کشنده‌ها بیشتر از دیگر کشنده‌هایی با توان کمتر از ۷۵ اسب بخار است ولی برآیند کاهش زمان انجام عملیات و افزایش مصرف سوخت بر ساعت موجب کاهش مصرف سوخت در هر هکتار شده است. بنابراین با وجود چنین تراکتورهایی می‌توان هم در زمان و هم در مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از آن برای انجام عملیات آماده‌سازی زمین کاست. (Kheiralla et al. (2004). دریافتند که با افزایش توان تراکتور ۲۵ و ۲۹ درصد به ترتیب در مصرف سوخت برای شخم با گاواهن برگردان دار و خاک ورزی ثانویه توسط دیسک صرفه‌جویی می‌شود.

برای کاشت هر هکتار گندم 0.1 ± 0.8 لیتر گازوئیل و 0.6 ± 0.32 مگاژول در هکتار انرژی ناشی از آن مصرف شد (جدول ۵ و ۶). استفاده از کمباینات بیشترین و کاربرد ماشین بذرپاش سانتریفیوژ کمترین میزان مصرف سوخت و انرژی را نشان دادند. در کاشت هر هکتار گندم 0.2 ± 0.25 کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت انتشار یافت (جدول ۷). شایان یادآوری است که تنها ۷ درصد از تولیدکنندگان گندم از روش دست‌پاش برای کاشت استفاده کردند که هیچ‌گونه مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از آن را در پی نداشت. بیشترین میزان مصرف سوخت مربوط به استفاده از کمباینات که عملیات شخم، دیسک و کاشت را همزمان انجام می‌دهد. ملایی و افزالی‌نیا (Mollayi and Afzalnia (2012) در کشت گندم میزان مصرف سوخت برای کمباینات را ۱۹ لیتر در هکتار گزارش کرد. (Alimagham et al. (2013) این میزان را برای کشت سویا ۱۲/۸ لیتر در هکتار بیان کرد. در این بررسی میزان مصرف سوخت برای استفاده از کمباینات در کشت گندم ۱۶-۲۰ لیتر در هکتار ارزیابی شده است. گرچه برای استفاده از کمباینات به انجام خاک‌ورزی اولیه توسط ادوات شخم نیست و بر اساس نتایج اغلب کشاورزان از ۱ یا ۲ دیسک به عنوان خاک‌ورزی اولیه برای آماده‌سازی زمین استفاده می‌کنند که این امر در نهایت موجب کاهش مجموع سوخت مصرفی می‌شود.

کشاورزان برای کوددهی گندم در ۳۰ درصد از موارد از روش دست‌پاش در حین کاشت، در ۴۰ مورد استفاده از عمیق‌کار و خطی‌کار برای کوددهی و کاشت به صورت

هکتار گازوئیل نیاز است که انرژی مصرفی ناشی از آن برابر با $۱۲۶۱/۳۱ \pm ۰/۰۶$ مگاژول در هکتار می‌باشد. انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت نیز $۹۸/۰ \pm ۴۷/۰۳$ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار محاسبه شده است. بنابر نتایج بیشترین میزان مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از آن در

کشتزارهایی که بیشترین عملکرد را داشتند مشاهده شد. شهرستان‌های آق‌قلا و گنبد کمترین میزان عملکرد و از سوی دیگر کمترین میزان مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از آن را داشتند.

جدول ۵- کمیت (لیتر بر هکتار)، انرژی مصرفی (مگاژول بر هکتار) و انتشار گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن بر هکتار) ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در تولید گندم در استان گلستان.

Table 5. Quantity ($L ha^{-1}$), energy consumption ($MJ.ha^{-1}$) and GHG emissions ($kg CO_2eq.ha^{-1}$) of fossil fuel input in wheat production, Golestan province, Iran.

عملیات Operations	Mean \pm SE		
	کمیت Quantity	انرژی مصرفی Energy consumption	انتشار گازهای گلخانه‌ای GHG emission
آماده سازی بستر کاشت Seedbed preparation	54.50 ± 0.03	2041.11 ± 0.09	152.22 ± 0.05
کاشت Sowing	8.30 ± 0.01	320.74 ± 0.06	25.01 ± 0.02
کوددهی Fertilizing	2.40 ± 0.01	112.50 ± 0.06	8.77 ± 0.01
حفاظت گیاهی Crop protection	14.20 ± 0.02	542.17 ± 0.13	49.29 ± 0.04
آبیاری Irrigation	10.20 ± 0.00	899.25 ± 0.27	70.122 ± 0.13
برداشت Harvesting	33.40 ± 0.01	1261.31 ± 0.06	98.47 ± 0.03
مجموع عملیات Total operations	123.00 ± 0.04	5175.60 ± 0.22	403.882 ± 0.15

جدول ۶- انرژی مصرفی (مگاژول بر هکتار) و انتشار گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن بر هکتار) ناشی از ماشین‌ها در تولید گندم در استان گلستان.

Table 6. Energy consumption ($MJ.ha^{-1}$) and GHG emissions ($kg CO_2eq.ha^{-1}$) of machinery application in wheat production, Golestan province, Iran.

عملیات Operations	Mean \pm SE	
	انرژی مصرفی Energy consumption	انتشار گازهای گلخانه‌ای GHG emission
آماده سازی بستر کاشت Seedbed preparation	368.27 ± 0.07	83.88 ± 0.04
کاشت Sowing	91.70 ± 0.06	20.73 ± 0.02
کوددهی Fertilizing	20.53 ± 0.03	4.69 ± 0.01
حفاظت گیاهی Crop protection	162.40 ± 0.07	37.05 ± 0.03
آبیاری Irrigation	49.90 ± 0.03	9.61 ± 0.03
برداشت Harvesting	265.89 ± 0.06	60.71 ± 0.02
مجموع عملیات Total operations	958.69 ± 0.10	216.67 ± 0.04

جدول ۷- انرژی مصرفی (مگاژول بر هکتار) ناشی از نیروی کارگری در تولید گندم در استان گلستان.

Table 7. Energy consumption (MJ ha⁻¹) of human labor in wheat production, Golestan province, Iran.

عملیات Operations	Mean±SE انرژی مصرفی Energy consumption
آماده سازی بستر کاشت Seedbed preparation	9.24±0.01
کاشت Sowing	2.20±0.01
کوددهی Fertilizing	6.81±0.02
حفاظت گیاهی Crop protection	7.89±0.02
آبیاری Irrigation	25.73±0.05
برداشت Harvesting	5.77±0.01
مجموع عملیات Total operations	57.64±0.03

شاخص‌های انرژی

برای تولید هر هکتار گندم $16231/04 \pm 0/34$ مگاژول در هکتار به انرژی نیاز است که از این میزان ۶۵ درصد آن به طور غیرمستقیم و ۳۵ درصد آن به صورت مستقیم دریافت شده است (جدول ۸). انرژی مستقیم شامل انرژی ناشی از نیروی کارگری، سوخت‌های فسیلی و الکتریسیته می‌باشد. انرژی غیرمستقیم نیز ناشی از انرژی ساخت، تعمیر و نگهداری ماشین‌ها و انرژی ناشی از مصرف بذر و مواد شیمیایی مانند کودها و سموم می‌باشد. در پرمصرف‌ترین کشتزار نسبت به کم مصرف‌ترین کشتزار از نظر انرژی ورودی کل، میزان دریافت انرژی $3/5$ برابر بیشتر بود. تولیدکنندگان پرمصرف، کودهای نیتروژنی را $1/7$ برابر و سوخت فسیلی را $1/4$ برابر بیشتر از دیگر کشاورزان مصرف کردند. از آنجایی که کاربرد کودهای نیتروژنی و سوخت فسیلی عامل مصرف ۷۰ درصد انرژی در تولید گندم در استان گلستان است، بنابراین با کاهش این دو عامل می‌توان مصرف انرژی را به طور چشمگیری کاهش داد. از هر هکتار زمین زیر کشت گندم $88933/93 \pm 1/08$ مگاژول انرژی ناشی از دانه و کاه گندم تولید شد. کشاورزانی که کمتر از میانگین انرژی خروجی بازدهی داشته‌اند در ۸۰ درصد موارد کشت گندم را به صورت دیم انجام داده‌اند. این کشاورزان $1/3$ برابر کمتر نسبت به دیگر کشاورزان از انرژی کودهای شیمیایی استفاده کرده‌اند و همچنین ۱۵ درصد کمتر انرژی ماشین‌ها را به کار گرفته‌اند. (Abdollahpoor

2010) and Zareie, میزان انرژی خروجی کاه و دانه را از دیم‌زارهای استان کرمانشاه 39204 مگاژول برآورد کردند. به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی $5/98$ مگاژول انرژی خروجی حاصل شد که بیشترین میزان آن $10/41$ مگاژول در هکتار ارزیابی شد (جدول ۸). کمترین میزان کارایی انرژی نیز $0/96$ به دست آمد. افزایش ۲۴ درصدی عملکرد دانه و کاه، کاهش ۲۱ درصدی مصرف کودهای نیتروژنی عامل افزایش نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی بود. گرچه این کشاورزان ۱۱ درصد بیشتر از کشاورزانی با کارایی کمتر، از انرژی سوخت فسیلی استفاده کردند که این سوخت صرف آبیاری کشتزارها شد. Alluvione et al. (2011) با بررسی نظام‌های مختلف کشت برای مقایسه کارایی مصرف انرژی در محصول‌های مختلف چنین بیان کرد که استفاده از نظام تلفیقی زراعی که شامل مدیریت جامع و کاهش مصرف نهاده‌ها (کاربرد خاک ورزی حفاظتی، استفاده از رقم‌های مقاوم به آفات، مصرف معقول آفت کش‌ها، استفاده از مواد کانی به صورت هدف یافته) و افزایش تنوع محصول‌های زراعی شامل گذر از کشاورزی فشرده و تک کشتی به سوی کشاورزی شامل تنوع و تناوب، استفاده از حاشیه کشتزارها برای افزایش تنوع) می‌تواند گام بلندی در افزایش کارایی مصرف انرژی و کمک به کاهش آلودگی‌های زیست محیطی باشد. همچنین آنان استفاده از گیاهان تله برای جلوگیری از آبشویی نیتروژن و تاثیر بر میزان ماده آلی خاک نیز می‌تواند به کارایی مصرف انرژی

کشتزارهای با بهره‌وری کمتر از انرژی مصرفی، از یک سو عملکرد دانه و کاه کمتر و از سوی دیگر صرف انرژی بیشتر برای انجام عملیات زراعی و همچنین مصرف بیشتر کودهای نیتروژنی عامل کاهش بهره‌وری است. از آنجایی که انرژی ویژه با بهره‌وری انرژی رابطه عکس دارد، می‌توان گفت که با افزایش عملکرد و کاهش مصرف انرژی در بخش کودهای شیمیایی و عملیات زراعی می‌توان کاربرد انرژی را به ازای هر کیلوگرم دانه و کاه کاهش داد. (Alhajjaji *et al.* (2013))

بهره‌وری انرژی را به ترتیب در نظام خاک‌ورزی سنتی و کم خاک‌ورزی ۰/۶۱ و ۰/۳۶ کیلوگرم بر مگاژول به دست آوردند. آنان دلیل بالاتر بودن بهره‌وری انرژی در نظام خاک‌ورزی سنتی نسبت به کم خاک‌ورزی را با وجود مصرف انرژی بیشتر در نظام خاک‌ورزی سنتی، بالاتر بودن عملکرد آن دانستند. (Soltani *et al.* (2013))

را در ۶ سناریوی مورد بررسی در تولید گندم در گرگان ۰/۲۷ گزارش کردند. همچنین (Soltani *et al.* (2014))

زراعت کلزا در شهرستان گرگان میزان بهره‌وری انرژی را ۰/۱۵ بیان کردند.

کمک کند. همچنین انتخاب تراکتور متناسب با تجهیزات آن می‌تواند باعث افزایش کارایی در مصرف انرژی شود و تا ۳۰ درصد در مصرف سوخت کاهش به عمل آید (Safa *et al.*, 2010).

انرژی خالص نیز با افزایش عملکرد دانه و کاه و کاهش مصرف نهاده‌ها از جمله کود نیتروژنی و سوخت فسیلی افزایش نشان داد. میانگین انرژی خالص دریافتی 7270.2 ± 189.59 مگاژول در هکتار بود به طوری که در بیشترین میزان آن 1255.01 مگاژول در هکتار به دست آمد. گرچه مصرف انرژی در کشاورزی با انرژی خالص دریافتی بالاتر ۱۲ درصد بیشتر بود، اما افزایش ۳۴ درصدی عملکرد گندم این مصرف انرژی بیشتر را جبران کرده و منجر به افزایش انرژی خالص دریافتی شد. (Zentner *et al.* (2004))

میزان انرژی خالص دریافتی را تنها برای دانه در کشت گندم از ۳۲ تا ۴۰ گیگاژول در هکتار گزارش کردند.

به طور میانگین در هر هکتار تولید گندم به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی ۰/۴۷ کیلوگرم دانه تولید شد (جدول ۸). در

جدول ۸- شاخص های انرژی برای تولید گندم در استان گلستان.

Table 8. Energy indices for wheat production in Golestan province.

شاخص ها Indices	واحد Unit	Mean±sd
انرژی مستقیم Direct energy	MJ ha ⁻¹	6167.69±0.34
انرژی غیرمستقیم Indirect energy	MJ ha ⁻¹	10063.70±0.39
انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	MJ ha ⁻¹	3199.63±0.41
انرژی تجدیدناپذیر Non-renewable energy	MJ ha ⁻¹	13031.41±0.48
انرژی ورودی Input energy	MJ ha ⁻¹	16231.04±0.34
انرژی کاه Straw energy	MJ ha ⁻¹	38691.43±0.73
انرژی دانه Grain energy	MJ ha ⁻¹	50242.50±0.82
مجموع انرژی خروجی Total output energy	MJ ha ⁻¹	88933.93±1.08
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	-	5.47±0.01
انرژی خالص Net energy	MJ ha ⁻¹	72702.89±1.56
بهره وری انرژی Energy productivity	Kg MJ ⁻¹	0.468±0.01
انرژی ویژه Specific energy	MJ kg ⁻¹	2.14±0.01

گلستان به ازای هر کیلوگرم دانه و کاه گندم که تولید می‌شود، ۱۶۰ گرم معادل دی‌اکسیدکربن به داخل جو انتشار می‌یابد، همچنین به ازای هر مگاژول انرژی که در تولید گندم به طور مستقیم و یا غیرمستقیم مصرف می‌شود، ۸۰ گرم معادل دی‌اکسیدکربن منتشر می‌شود که این میزان برای هر مگاژول انرژی خروجی که حاصل می‌شود، ۱۴ گرم به دست آمد (جدول ۹).

از آنجا که سهم کاربرد کودهای نیتروژنی و سوخت‌های فسیلی در انتشار گازهای گلخانه‌ای نزدیک به ۷۸ درصد است. توجه به کاربرد بهینه کودهای نیتروژنی و سوخت‌های فسیلی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد. بنابر نتایج چنانچه از کاربرد کودهای نیتروژنی کاسته شود و از الکتریسیته به جای گازوئیل در آبیاری گندم استفاده شود، ۷۵ درصد در انتشار گازهای گلخانه‌ای برای مصرف سوخت عملیات آبیاری کاهش ایجاد می‌شود. همان‌طور که پیشتر اشاره شد نیز با استفاده از کشنده‌هایی با توان اسب بخار بالا و ادواتی با عرض کار و عمق نفوذ بیشتر می‌توان در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد و به دنبال آن انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد.

جدول ۹- بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید گندم در استان گلستان.

Table 9. GHG emissions for wheat production in Golestan province, Iran.

انتشار گازهای گلخانه‌ای	واحد	Mean±sd
GHG emissions	Unit	
بر واحد سطح	kg eq-CO ₂ .ha ⁻¹	1414.01±3.17
per unit area		
بر واحد وزن	kg eq-CO ₂ .kg ⁻¹	0.186±0.001
per unit weight		
بر واحد انرژی ورودی	kg eq-CO ₂ .MJ ⁻¹	0.087±0.001
per unit energy input		
بر واحد انرژی خروجی	kg eq-CO ₂ .MJ ⁻¹	0.016±0.001
per unit energy output		

گلخانه‌ای بود و ۴۰ درصد از مصرف انرژی و ۳۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای کل را نشان داد.

۳- سهم نهاده‌هایی همچون کودهای نیتروژنی و سوخت‌های فسیلی ۷۰ درصد از مجموع سوخت مصرفی و ۷۸ درصد از مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل دادند، بنابراین برای کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تمرکز بر کاربرد بهینه کودهای نیتروژنی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی ضروری به نظر می‌رسد. هر چند سم‌های شیمیایی از نظر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر شایان توجه به

چنانچه شرایط تولید گندم در استان گلستان به گونه‌ای انجام پذیرد که کارایی کاربرد انواع کودهای شیمیایی به ویژه کود اوره افزایش یابد و یا از کودهای آلی که منجر به غنی‌سازی خاک از مواد کانی در طی زمان طولانی می‌شود استفاده شود و همچنین استفاده از ماشین‌ها با بهره‌وری بالاتر، مدت زمان استفاده از آن و مصرف سوخت نیز کاهش یابد، می‌توان بهره‌وری انرژی و نسبت انرژی خروجی به ورودی را در هر هکتار افزایش داد و مصرف انرژی را به ازای هر کیلوگرم دانه و کاه کاهش داد. البته استفاده از رقم‌هایی با پتانسیل عملکرد بالاتر و مدیریت بهتر زراعی در تولید گندم که منجر به افزایش عملکرد شود نیز بر بهره‌وری - انرژی و نسبت انرژی خروجی به ورودی می‌افزاید.

شاخص‌های GWP

بنابر نتایج به ازای هر هکتار تولید گندم ۱۴۱۴/۰۱±۳/۱۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن گازهای گلخانه‌ای انتشار یافت. (Safa and Samarasinghe (2012 در تولید گندم در نیوزلند میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را از هر هکتار زمین زیر کشت گندم ۱۰۳۲ کیلوگرم برآورد کردند. در استان

نتیجه‌گیری

۱- نتایج ارزیابی کلی مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان داد که برای تولید هر هکتار گندم ۰.۱۲۳/۲۳ لیتر گازوئیل مصرف می‌شود. مصرف انرژی نیز برای هر هکتار ۱۶۲۳۱/۰۴±۰/۳۴ مگاژول در هکتار و انتشار گازهای گلخانه‌ای ۱۴۱۴/۰۱±۳/۱۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به دست آمد.

۲- عملیات آماده‌سازی زمین نسبت به دیگر عملیات زراعی دارای مصرف بیشتر سوخت، انرژی و انتشار گازهای

گیاهان پوششی می‌تواند در کاهش کاربرد کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنی مؤثر باشد. به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی ۵/۴۷ مگاژول انرژی خروجی به دست آمد. چنانچه شرایط تولید گندم در استان گلستان به گونه‌ای انجام پذیرد که کارایی مصرف انواع کودهای شیمیایی به ویژه کود اوره افزایش یابد و یا از کودهای آلی که منجر به غنی سازی خاک از مواد کانی در طی زمان طولانی می‌شود استفاده شود و همچنین استفاده از ماشین‌ها و ادوات با بهره‌وری بالاتر، مدت زمان استفاده از آن و مصرف سوخت نیز کاهش یابد، می‌توان بهره‌وری انرژی و نسبت انرژی خروجی به ورودی را در هر هکتار افزایش داد و مصرف انرژی را به ازای هر کیلوگرم دانه و کاه کاهش داد.

سپاسگزاری

این نوشتار با حمایت و پشتیبانی شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران اجرا شده است. لذا از شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نظر می‌رسد ولی از نظر اثرگذاری‌های زیانبار زیست محیطی، کاهش مصرف آن باید مورد توجه قرار گیرد. ۴- به منظور کاهش مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در عملیات آماده‌سازی زمین، استفاده از کولتیواتور و گاواهن قلمی به جای گاواهن برگردان‌دار، کاربرد تراکتورهایی با توان بالا برای استفاده از ادواتی با عرض کار و عمق نفوذ بیشتر مانند دیسک‌های افست و به دنبال آن کاهش زمان انجام عملیات و شمار دفعات آن ضروری به نظر می‌رسد. ۵- با استفاده از کمبینات به دلیل انجام همزمان آماده‌سازی زمین و کاشت می‌توان مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به طور شایان توجهی کاهش داد. استفاده از سمپاش‌های توربینی به جای سمپاش‌های تراکتوری لانس نیز مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد. ۶- کوددهی گیاه در زمان نیاز و مرحله‌های فنولوژیک گیاه، انتخاب گیاهانی با نیاز کودی کمتر، نمونه‌گیری خاک پیش از کشت محصول و تعیین نیاز کودی گیاه بر مبنای آن، جایگزینی کودهای شیمیایی با آلی، رعایت تناوب مناسب و جلوگیری از انجام تک‌کشتی، استفاده از

منابع

- Abdollahpoor, S. and Zareie, S., 2010. Evaluation of energy balance in rainfed wheat fields of Kermanshah province. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 20, 97-106. (In Persian with English abstract).
- Ahmadi, M. and Aghaalikhani, M., 2012. Energy consumption analysis in cotton farming in Golestan province in order to provide a solution for increasing resource efficiency. *Agricultural Ecology*. 4, 151-158. (In Persian with English abstract).
- Akcaoz, H., Ozcatalbas, O. and Kizilay, H., 2009. Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal of Food and Agriculture Environment*. 7, 475-480.
- Alhajjaji, S., Tedone, L. and Mastro, G., 2013. A comparison of the energy consumption of rainfed durum wheat under different management scenarios in southern Italy. *Energy*. 61, 308-318.
- Alimaghani, M., Soltani, A. and Zeinali, A., 2013. Evaluation of fuel and energy use and their environmental impacts in soybean production at Gorgan. MS.c. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan, Iran.
- Alipour, A., Veisi, H., Darijani, F., Sabahi, H. and Liaghati, H. 2014. Assessing energy consumption in conventional rice production systems in Mazandaran and Guilan provinces of Iran: A case study in Babolsar and Lahijan. *Agroecology*. 2(1): 1-4.
- Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D. and Grignani, C., 2011. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy*. 36, 4468-81.
- Arvidsson, A., 2010. Energy use efficiency in different tillage systems for winter wheat on a clay and silt loam in Sweden. *European Journal of Agronomy*. 33, 250-256.
- Asgharipour, M. R. and Jamiolahmadi, H., 2016. Comparison of energy use efficiency and economic analysis in melon and cotton production system of Torbat-e-Jam. *Journal of Agroecology*. 6 (2), 29-42.
- Clements, D.R., Weise, S.F., Brown, R., Stonehouse, D.P., Hume, D.J. and Swanton, C.J., 2005. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management-systems. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 52, 119-128.

- Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S. and Teimouri, M., 2011. A case study of energy use and economic analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy*. 88, 283-288.
- Houshyar, E. and Kiani, S., 2012. Energy consumption of rain-fed wheat production in conventional and conservation tillage systems. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 4, 213-219.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1996. Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, UK.
- Kaltsas, A.M., Mamolos, A.P., Tsatsarelis, C.A., Nanos, G.D. and Kalburtji, K.L., 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 122, 243-251.
- Kheiralla, A.F., Yahya, A., Zohadie, M. and Ishak, W., 2004. Modelling of power and energy requirements for tillage implements operating in Serdang sandy clay loam, Malaysia. *Soil and Tillage Research*. 78, 21-34.
- Kitani, O., 1999. Energy and Biomass Engineering. In: *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*, vol. V. ASAE Publication, St Joseph, MI.
- Koga, N., 2008. An energy balance under a conventional crop rotation system in Northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugarbeet. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 125, 101-11.
- Lal, R., 2004. Carbon emission from operations. *Environment International*. 30, 981-990.
- Manos, B., Begum, M.A., Kamruzzaman, M., Nakou, I. and Papathanasiou, J. 2007. Fertilizer price policy, the environment and farms behavior. *Journal of Policy Modeling*. 29, 87-97.
- Maraseni, T.N. and Cockfield, G., 2011. Does the adoption of zero tillage reduce greenhouse gas emissions? An assessment for the grains industry in Australia. *Agricultural Systems*. 104, 451-458.
- Mc Laughlin, N.B., Grant, B.A., King, D.J. and Wall, G.J., 1997. Energy inputs for a combined tillage and liquid manure injection system. *Canadian Agricultural Engineering*. 39, 289-295.
- Michos, C., Mamolos, A., Menexes, G., Tsatsarelis, A., Tsirakoglou, V. and Kalburtji, A., 2012. Energy inputs, outputs and greenhouse gas emissions in organic, integrated and conventional peach orchards. *Ecological Indicator*. 13, 22-28.
- Ministry of Energy (Iran), 2010. Energy balance sheet. Tehran, Iran. (In Persian).
- Mohammadi A, Rafiee S, Jafari A, Keyhani A, Mousavi-Avval S.H. and Nonhebel S., 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 30, 724-733.
- Mollayi, K. and Afzalnia, S., 2012. Determination of energy indices in wheat and rapeseed production in Eqlid Namdan plain. *Journal of Plant Ecophysiology*. 10, 26-36. (In Persian with English abstract).
- Nemecek, T., Richthofen, J.S., Dubois, G., Casta, P., Charles, R. and Pahl, H., 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop. *European Journal of Agronomy*. 28, 380-393.
- Ozkan, B., Akcaoz, H. and Fert, C., 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*. 29, 39-51.
- Pimental, D. and Pimental, M.H., 2008. *Food, Energy and Society*. Taylor and Francis. Milton Park, United Kingdom.
- Rajabi, M.H., Soltani, A., Vhidnia, B., Zeinali, E. and Soltani, E., 2011. Evaluation of fuel consumption in wheat fields in Gorgan. *Environmental Science*. 9, 143-164.
- Rathke, G.W. and Diepenbrock, W., 2006. Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of 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 and Tillage Research*. 97, 60-70.
- Roosbeh, M., Almasi, M. and Hemmati, A., 2002. Evaluation and comparison of energy requirements in different tillage methods for corn production. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 9, 117-128. (In Persian with English abstract).
- Safa, M. and Samarasinghe, S., 2012. CO₂ emissions from farm inputs "case study of wheat production in Canterbury, New Zealand. *Environmental Pollution*. 171, 126-132.
- Safa, M., Samarasinghe, S. and Mohsen, M., 2010. Determination of fuel consumption and indirect factors affecting it in wheat production in Canterbury, New Zealand. *Energy*. 35, 5400-5405.
- Shamabadi, Z., 2012. Effect of low tillage methods on energy efficiency and rain fed wheat yield. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*. 1, 69-78. (In Persian with English abstract).
- Soltani, A., Maleki, M.H.M. and Zeinali, E., 2014. Optimal crop management can reduce energy use and greenhouse gases emissions in

- rainfed canola production. International Journal of Plant Production. 8, 587-604.
- 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.
- Soni, P., Taewichit, C. and Salokhe, V.M., 2013. Energy consumption and CO₂ emissions in rainfed agricultural production systems of Northeast Thailand. Agricultural System. 116, 25-36.
- Strapatsa, A.V., Nanos, G.D. and Tsatsarelis, C.A., 2006. Energy flow for integrated apple production in Greece. Agriculture, Ecosystems, Environment. 116, 176-180.
- Taghavifar, H. and Mardani, A., 2015. Energy consumption analysis of wheat production in West Azerbaijan utilizing life cycle assessment (LCA). Renewable Energy. 74, 208-213.
- Tipi, T., Cetin, B. and Vardar, A., 2009. An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. Journal of Agricultural Environment. 7, 352-356.
- Turhan, S., Cananozbag, B. and Rehber, E., 2008. A comparison of energy use in organic and conventional tomato production. Journal of Food and Agriculture Environment. 6, 318-321.
- Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A. and Jaggard, K., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emission in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. Agricultural System. 85, 101-119.
- Wang, C., Li, X., Gong, T. and Zhang, H., 2014. Life cycle assessment of wheat-maize rotation system emphasizing high crop yield and high resource use efficiency in Quzhou County. Journal of the Cleaner Production. 68, 56-63.
- West, T.O. and Marland, G., 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. Agriculture, Ecosystems and Environment. 91, 217-232.
- 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 and Tillage Research. 77, 125-136.
- Zugec, I., Stipesevic, B. and Kelava, I., 2011. Rational soil tillage for cereals (winter wheat-*Triticum aestivum* L. and spring barley-*Hordem vulgar* L.) in eastern Croatia. In: Proceedings of the 15th ISTRO Conference, 2nd-7th July, Fort Worth, Texas. pp. 57-64.

Study of energy indicators and greenhouse gas emissions in wheat production in Golestan province

Nasibe Rezvantab, ¹ Afshin Soltani, ^{1,*} Ebrahim Zeinali¹ and Alireza Foroughnia²

¹ Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

² National Iranian Oil Products Distribution Company, Golestan province, Golestan, Iran.

*Corresponding author: afshin.soltani@gmail.com

Received: 2018.03.06

Accepted: 2018.09.25

Rezvantab, N., Soltani, A., Zeinali E. and Foroughnia, A., 2019. Study of energy indicators and greenhouse gas emissions in wheat production in Golestan province. *Journal of Agroecology*. 9 (1), 17-38.

Introduction: The significant increases in energy consumption make the continued and accelerated optimization measures on energy supply and demand more critical than ever before (Iranian Ministry of Energy, 2010). Different quantities of energy are consumed per hectare of wheat production by using different inputs such as fertilizers, fossil fuels, electricity, seeds, pesticides and machinery. This leads to greenhouse gas emissions including CO₂, N₂O and CH₄. Increasing the concentration of such gases in the atmosphere can cause global warming. Serious attention to reducing energy consumption and greenhouse gas emissions is therefore necessary. To this end, fuel and energy consumption and greenhouse gas emissions were investigated in all the wheat fields in Golestan Province. Finally, some strategies to reduce consumption and emissions were presented.

Material and methods: In order to determine the fuel and energy consumption and greenhouse gas emissions and how to reduce it, 140 wheat fields in Golestan province were investigated through systematic random sampling. The amount of inputs, including fossil fuels was recorded and energy analysis was done based on the consumed inputs amount per unit. Also, the greenhouse gases emission of carbon dioxide, nitrous oxide and methane derived from energy consumption for agricultural inputs and agronomic operations was calculated (IPCC, 1996; Soltani *et al.*, 2013). Finally, energy efficiency, energy productivity, specific energy, net energy and total GWP, GWP in area unit, product weights, input energy and output energy were also calculated.

Result and discussion: Fuel required to produce wheat was estimated at 123±0.23 L.ha⁻¹ and energy required was 16231.04±0.34 MJ.ha⁻¹, based on results. Greenhouse gas emissions were calculated at 1414.01±3.17 kg eq-CO₂.ha⁻¹. Land preparation and harvesting required higher fuel and energy consumption and produced more emissions than other agricultural operations. Nitrogen fertilizers and fossil fuels were the worst offenders accounting for 70% of total energy consumption and 78% of emissions. Based on the results, using tractors with higher horsepower and equipment with a high working width and penetration depth in soil is preferable because they required fewer operations and less time for land preparation. Using turbo linear sprayers instead of lance sprayers with a tractor, as well as using new engines for irrigation can play an important role in reducing fuel consumption and, consequently, reduce energy consumption and emissions of greenhouse gases in overall agricultural operations.

Conclusion: Optimizing the use of nitrogen fertilizers and reducing fossil fuel consumption is critical to reducing energy consumption and greenhouse gas emissions. If wheat production in Golestan is carried out in such a way that the efficiency of using different types of fertilizers, especially urea fertilizer, is increased or by using organic fertilizers that lead to mineral enrichment in soil over a long period of time, the application of a higher efficiency machine which reduces its own use and fuel consumption, it is possible to increase the energy efficiency and the ratio of the output energy to the input per hectare and reduce energy consumption per kg of grain and straw. By applying such management practices, greenhouse gas emissions will also be reduced in land and crop weight unit.

Keywords: Cultural operations, Electricity, Energy efficiency, Fossil fuel.

References:

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

Iranian Ministry of Energy (Iran), 2010. Energy balance sheet. Tehran, Iran. (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.