



فصلنامه علوم محیطی، دوره هفدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸

۸۱-۱۰۲

آینده پژوهی بهره‌وری انرژی در تولید گندم آبی در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه

ابوالفضل ناصری* و رامین نیکان فر

بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۴

ناصری، ا. و ر. نیکان فر. ۱۳۹۸. آینده پژوهی بهره‌وری انرژی در تولید گندم آبی در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۲):

۸۱-۱۰۲

سابقه و هدف: در همه کشورها، تولیدهای کشاورزی وابستگی شدیدی به انرژی بویژه سوخت‌های فسیلی دارد. حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد از کل انرژی مصرفی در کشورهای پیشرفته جهان صرف تولید غذا می‌شود. استفاده کارا از انرژی در بخش کشاورزی یکی از الزامات اساسی در گسترش کشاورزی پایدار بشمار می‌رود، چون افزایش کارایی انرژی موجب حفظ سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی‌های هوا می‌شود. نامشخص بودن میزان بهره‌وری انرژی در تولید گندم در حاشیه دریاچه ارومیه از یک طرف و بروز بحران انرژی در سطح جهانی و ضرورت مصرف هدفمند انرژی در تولید محصول‌های کشاورزی از طرف دیگر، پژوهش در زمینه تحلیل بهره‌وری انرژی در تولید گندم را ضروری می‌نماید؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و آینده‌پژوهی سنج‌های انرژی شامل انرژی خالص، کارایی انرژی، انرژی ویژه و بهره‌وری انرژی و بیان راهکارهای مناسب برای بهبود یا پیشرفت سنج‌های انرژی در تولید گندم انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، بهره‌وری انرژی در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم در تولید گندم در حاشیه دریاچه ارومیه در دو سال زراعی با اندازه‌گیری و گردآوری داده‌های لازم، ارزیابی شد. سنج‌های انرژی خالص، کارایی انرژی، انرژی ویژه و بهره‌وری انرژی در تولید گندم تعیین گردید. با توجه به شرایط فعلی دریاچه ارومیه، منبع‌های آب در حوضه این دریاچه محدود بوده و ارزش آب آبیاری افزون بر جنبه اقتصادی از رویکرد محیط زیست نیز قابل توجه است. بنابراین برای بازسازی شرایط مصرف انرژی در آینده برای تولید منطقه‌ای گندم از سناریوهای مدیریت آبیاری بعنوان شیوه آینده‌پژوهی استفاده گردید. سناریوهای مدیریت آبیاری شامل سه شرایط کم آبیاری، آبیاری کامل و بیش آبیاری مزرعه‌های گندم بود.

نتایج و بحث: بهره‌وری انرژی با کاربرد خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بترتیب ۲۱۰ و ۱۷۰ گرم بر مگاژول به‌دست آمد. سناریوهای آینده‌پژوهی مدیریت آبیاری شامل سه شرایط کم آبیاری، آبیاری کامل و بیش آبیاری مزرعه‌های گندم بود. میزان انرژی مصرفی برای تولید گندم با سناریوهای گروه اول (آبیاری کامل و بیش آبیاری) و دوم (کم آبیاری) بترتیب ۱۸/۵ و ۱۷/۷ گیگاژول در هکتار بود. میزان انرژی تولیدی دانه گندم با سناریوهای گروه اول و دوم بترتیب ۶۷/۵ و ۳۱/۸ گیگاژول در هکتار بود. میانگین کارایی انرژی در تولید دانه با گروه‌های اول و دوم بترتیب ۳/۷ و ۱/۸ و بهره‌وری انرژی بترتیب ۲۵۳ و ۱۲۵ گرم بر مگاژول بود. استفاده از دستگاه‌های کم‌وزن، انتخاب مقدار مناسب بذر، پیشرفت بهره‌وری مصرف کود و آب، می‌تواند راهکارهای مؤثر برای افزایش بهره‌وری مصرف انرژی در تولید گندم آبی در شمال غرب کشور باشد.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها نشان داد از رویکرد سنج‌های انرژی، استفاده از سیستم خاک ورزی حفاظتی نسبت به خاک ورزی مرسوم در تولید دانه

گندم ارجحیت دارد. هرچند در موارد متعدد تفاوت آماری سنجه‌های انرژی در تولید محصول معنی‌دار نبود. بنظر می‌رسد اجرای مناسب و درست عملیات خاک‌ورزی حفاظتی با انتخاب مناسب ادوات و تجهیزهای موجب بهبودی سنجه‌های انرژی در تولید گندم شود.

واژه‌های کلیدی: بیلان انرژی، کارایی انرژی، گندم آبی، کشاورزی حفاظتی.

مقدمه

بخش کشاورزی با تولید مواد غذایی، ایجاد اشتغال، کمک به تولید ناخالص داخلی و گسترش صادرات غیرنفتی نقش اساسی در تأمین امنیت غذایی و رونق اقتصادی کشور دارد. در همه کشورها، تولیدهای کشاورزی وابستگی شدیدی به انرژی بویژه سوخت‌های فسیلی دارد. حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد از کل انرژی مصرفی در کشورهای پیشرفته جهان صرف تولید غذا می‌شود (Koocheki and Hosseini, 1994). یک‌چهارم از میزان انرژی مصرفی در تولید مواد غذایی، در تولیدهای کشاورزی مصرف می‌شود و موارد مصرف انرژی شامل عملیات تولید محصول‌های زراعی و دامی در مزرعه و عملیات فرآیندسازی محصول‌ها، ترابری و تولید کود و سم‌های شیمیایی خارج از مزرعه است (Koocheki and Hosseini, 1994). استفاده کارا از انرژی در بخش کشاورزی یکی از الزامات اساسی در گسترش کشاورزی پایدار بشمار می‌رود. چون افزایش کارایی انرژی موجب حفظ سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی‌های هوا می‌شود (Uhlir, 1998; Pervanchon et al., 2002) از سوی دیگر، گندم بعنوان اصلی‌ترین ماده غذایی در دنیا از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در سال ۲۰۱۴ کل تولید گندم در جهان ۷۲۹ میلیون تن از سطحی به مساحت ۲۱۵ میلیون هکتار، بود (FAO, 2016). در ایران، گندم اصلی‌ترین و عمده‌ترین منبع تأمین کالری و پروتئین است که در سطحی حدود ۶/۱ میلیون هکتار با تولید سالانه ۱۰/۶ میلیون تن کشت می‌شود (Anonymous, 2014). در استان آذربایجان شرقی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ سطح زیر کشت گندم ۳۸۶ هزار هکتار با تولید ۴۱۷ هزار تن بود. با این همه، نامشخص بودن میزان مؤلفه‌های بیلان انرژی در تولید گندم در این استان از یک طرف و بروز بحران انرژی در سطح جهانی و ضرورت مصرف هدفمند انرژی در تولید محصول‌های کشاورزی از سوی دیگر، پژوهش در

زمینه تحلیلی بیلان انرژی در تولید گندم را ضروری می‌نماید. رویکرد حفاظت از سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی هوا، موجب گسترش روزافزون مطالعات و پژوهش‌های بیلان انرژی در سیستم‌های تولید گیاهان زراعی شده است (Koga, 2008). پژوهش‌های یادشده بطور غالب شامل انرژی‌های ورودی یا مصرفی و خروجی یا تولیدی می‌باشد. مصرف مستقیم انرژی شامل سوخت لازم برای تراکتورها برای آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت و ترابری، سوخت لازم برای سامانه‌های آبیاری و ماشین‌آلات برداشت، نیروی الکتریکی مصرف‌شده برای پمپ‌های آبیاری و جابجایی مواد در مزرعه و مصرف غیرمستقیم انرژی برای ساخت مواد و تجهیزهای مزرعه استفاده می‌شود (Koocheki and Hosseini, 1994). ارزیابی سنجه‌های انرژی مانند انرژی خالص، کارایی و بهره‌وری انرژی می‌تواند در راستای کاهش انرژی مصرفی و یا افزایش انرژی تولیدی بگونه مؤثری کمک کند. تعیین میزان تأثیر متغیرهای مؤثر در هر یک از سنجه‌های انرژی و امکان‌سنجی جایگزینی این متغیرها با دیگر متغیرها با ملاحظه‌های فنی و اقتصادی در تدقیق و تسریع بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی می‌تواند نقش بارزی ایفاء نماید (Witney, 1995; Rajaby et al., 2012). نظر به اهمیت انرژی و ضرورت استفاده هدفمند و هوشمند از منابع‌های انرژی، پژوهش‌های مختلفی در سراسر دنیا برای تحلیل بیلان انرژی و بهره‌وری آن در تولید محصول‌های کشاورزی و جستجوی راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی صورت گرفته است. بعنوان نمونه در نتایج پژوهشی در انگلستان میانگین مصرف انرژی در تولید گندم ۱۷/۳ گیگاژول در هکتار گزارش شده است (Leach, 1976). انرژی مصرفی در تولید گندم دیم در مازندران برابر ۲۲/۴ گیگاژول در هکتار و کارایی انرژی این محصول ۰/۴۲ برآورد شده است (Heydar gholinezhad Kanari and Hassanzadeh Ghorot Tappeh, 2003). مصرف انرژی در تولید

مجموعه داده‌های اندازه‌گیری‌شده و اطلاعات گردآوری‌شده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای ارزیابی و سنج‌های انرژی در تولید گندم در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم، داده‌های موردنیاز در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه در مزرعه‌های گندم آبی شهر ایلخچی در دو سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ اندازه‌گیری و جمع‌آوری گردید. میانگین ۶۰ ساله بارندگی در این منطقه ۲۹۰ میلی‌متر است. بخش وسیعی از زمین‌های زراعی این منطقه به کشت غلات اختصاص دارد. نیاز خالص آبیاری برای شرایط پتانسیل تولید گندم در این دشت بین ۳۵۰۰ تا ۳۷۰۰ مترمکعب در هکتار است. داده‌های لازم برای ارزیابی سنج‌های انرژی در تولید گندم از دو روش میدانی و اسنادی به‌دست آمدند. عملکرد دانه و کاه گندم و میزان آب مصرفی در هر دو سال بطور مستقیم در مزرعه‌ها اندازه‌گیری گردید. داده‌های مربوط به تهیه زمین، کاشت، تغذیه گیاهی، حفاظت از گیاه و استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی از طریق تکمیل پرسشنامه‌های پژوهشی به‌دست آمد. برای شناسایی واژه‌ها، مفاهیم، استانداردها و برخی از داده‌هایی که از روش میدانی دسترسی به آن‌ها امکان‌پذیر نبود، از روش اسنادی استفاده و بخشی از داده‌های لازم از اسناد منتشرشده وزارت جهاد کشاورزی و بخشی دیگر از مقاله‌ها و کتاب‌های تخصصی جمع‌آوری شد. انرژی مصرفی (ورودی) در سیستم‌های تولید کشاورزی به دو بخش مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود. در تولید دانه و زیست‌توده گندم، مصرف مستقیم انرژی شامل سوخت لازم تراکتور برای تهیه زمین، کاشت، داشت، برداشت و ترابری، نیروی الکتریکی برای پمپاژ آب زیرزمینی، نیروی انسانی برای انجام عملیات زراعی در مزرعه و ایجاد و تخریب نهر و فارو می‌باشد. مصرف غیرمستقیم انرژی در تولید دانه و زیست‌توده گندم شامل تهیه و ترابری کود و سم‌های شیمیایی، بذر مصرفی در مرحله کاشت و وزن ماشین‌آلات و تجهیزات پمپاژ می‌باشد بنابراین در پژوهش حاضر

گندم در ترکیه در سال ۱۹۷۵ برابر ۱۹/۶ گیگاژول در هکتار و در سال ۲۰۰۰ حدود ۴۶ گیگاژول در هکتار بوده است (Hatirli, 2005). در پژوهشی بیلان انرژی در تولید گندم در آذربایجان شرقی تحلیل شده و انرژی مصرفی برای تولید این محصول ۲۷/۲ گیگاژول در هکتار گزارش نموده است (Valadiani *et al.*, 2005). میزان مصرف انرژی و کارایی آن در تولید گندم در هندوستان بترتیب ۱۷/۸ گیگاژول در هکتار و ۵/۲ گزارش گردیده است (Sing *et al.*, 2007). نتایج تحلیل انرژی در تولید گندم در ترکیه نشان داد انرژی مصرفی برای تولید گندم ۲۱ گیگاژول در هکتار و کارایی انرژی در تولید این محصول ۳/۱ بود. سوخت و کودشیمیایی با ۴۵ و ۳۴ درصد سهم، نقش اصلی را در مصرف انرژی داشته‌اند (Tipi *et al.*, 2009). انرژی مصرفی تولید گندم در مراغه با کاربرد سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی متفاوت گزارش شده است. مصرف انرژی با کاربرد گاوآهن برگرداندار و عملیات بدون خاک‌ورزی در تولید گندم بترتیب ۴۹/۶ و ۶۳ گیگاژول در هکتار بوده است. کارایی انرژی در این دو سیستم خاک‌ورزی بترتیب ۳/۷ و ۴/۹ به‌دست آمد (Tabatabaefar *et al.*, 2009). برای تولید گندم در کرمانشاه، میزان انرژی مصرفی ۲۵/۷ گیگاژول در هکتار و کارایی انرژی در تولید دانه، کاه و زیست‌توده گندم بترتیب ۰/۸۲، ۰/۷۰ و ۱/۵۲ به‌دست آمده است (Abdollahpour and Zaree, 2010). تولید و مصرف انرژی در مزرعه‌های گندم در گرگان بترتیب ۱۲۰ و ۲۱ گیگاژول در هکتار و میانگین کارایی انرژی ۶/۳ به‌دست آمده است. کود شیمیایی و سوخت با ۴۶ و ۲۳ درصد سهم، بیشترین نقش را در مصرف انرژی در تولید گندم داشته‌اند (Rajaby *et al.*, 2012).

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی سنج‌های انرژی شامل انرژی خالص، کارایی انرژی، انرژی ویژه و بهره‌وری انرژی و بیان راهکارهای مناسب برای بهبود یا پیشرفت‌های انرژی در تولید گندم بود. از یافته‌های پژوهش می‌توان در برنامه‌ریزی منطقه‌ای کشاورزی پایدار با هدف پیشرفت بهره‌وری انرژی در تولید گندم در شرق دریاچه ارومیه استفاده نمود. نوآوری مشخص پژوهش عبارت است از آینده‌پژوهی بهره‌وری مصرف انرژی در تولید گندم با ایجاد یا بازسازی شرایط مصرف انرژی در آینده برای تولید محصول در شرق دریاچه ارومیه که بصورت سناریوهای مدیریت آبیاری بر مبنای

ماشین در مزرعه (کیلومتر در ساعت) است. پس از محاسبه ظرفیت موثر هر یک از ادوات خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی، با در نظر گرفتن سوخت مصرفی برای هر ساعت کار ماشینی و هم‌ارز انرژی گازوئیل (۴۰ مگاژول در لیتر)، انرژی مصرفی ادوات (مگاژول در هکتار) برآورد گردید (جدول ۱).

برآورد انرژی الکتریکی: برای پمپاژ آب از منبع‌های آب زیرزمینی در مزرعه موردبررسی از منبع الکتریکی استفاده می‌شود. بر مبنای مدت پمپاژ آب و مدت آبیاری و میانگین قدرت الکتروموتورهای مورد استفاده و با در نظر گرفتن هم‌ارز انرژی برای منبع الکتریکی (۳/۶۰ مگاژول در کیلووات ساعت)، میزان انرژی ورودی (مصرفی) از این منبع (مگاژول در هکتار) محاسبه گردید (جدول ۱).

برآورد انرژی کودهای شیمیایی: کودهای مصرفی در تولید گندم در دشت تبریز-آذرشهر بطور عمده شامل کود ازته و فسفره (سوپر فسفات تریپل) بود. حدود ۴۶ درصد از کود ازته را ازت خالص و ۴۶ درصد از کود سوپر فسفات تریپل را فسفر تشکیل می‌دهد. پس از محاسبه میزان ازت خالص و فسفر، میزان انرژی مصرفی برای کودهای شیمیایی با استفاده از ضریب تبدیل انرژی برای نیتروژن (۷۳/۷۰ مگاژول بر کیلوگرم) و فسفر (۱۳/۴۰ مگاژول بر کیلوگرم) به دست آمد (جدول ۱).

برآورد انرژی سم‌های کشاورزی: برای تولید گندم در دشت مورد بررسی، بطور عمده از علف کش 2,4-D و سافیکس استفاده می‌شود. هر لیتر از این علف کش‌ها بترتیب ۸۴/۹۰ و ۱۱۳/۷۵ مگاژول انرژی مصرف می‌کنند (جدول ۱). میزان مصرف انرژی برای مقدار حجمی علف کش‌های استفاده شده، برحسب مگاژول در هکتار برآورد گردید (Koocheki and Hosseini, 1994).

برآورد انرژی بذر مصرفی گندم: پس از مشخص شدن میزان بذر مصرفی گندم در مزرعه، با توجه به ضریب تبدیل انرژی برای بذر گندم (۱۷/۶۰ مگاژول بر کیلوگرم)، کل انرژی مصرفی برحسب مگاژول در هکتار (جدول ۱) به دست آمد (Koocheki and Hosseini, 1994; Rajaby et al., 2012).

انرژی مصرفی (ورودی) به دو شکل مستقیم و غیرمستقیم برآورد گردید. انرژی تولیدی (خروجی) محصول در سه بخش دانه، کاه و زیست‌توده برآورد گردید. همچنین مؤلفه تجدیدپذیری انرژی مصرفی (ورودی) شامل انرژی نیروی انسانی، بذر مصرفی و آب آبیاری و مؤلفه تجدیدناپذیری انرژی مصرفی شامل انرژی‌های سوخت، کود و سم‌های شیمیایی و ماشین‌آلات در این پژوهش برآورد شد. برای برآورد انرژی مصرفی و انجام عملیات گوناگون یا محتوای انرژی موجود در نهاده‌های تولیدی، از هم‌ارزها، فرمول‌ها و روابط مربوط که در منبع معتبر علمی نام برده شده، استفاده گردید.

برآورد نیروی انسانی: نیروی کار انسانی از مرحله کاشت گندم تا برداشت محصول با استفاده از اطلاعات دریافتی از تکمیل پرسشنامه‌های میدانی و اسنادی تعیین گردید. تعداد ساعت‌های کار برای انجام مرحله‌های مختلف عملیات زراعی از جمله ایجاد کرت، نهر و فارو، کودپاشی، بذرکاری یا بذرپاشی، آبیاری، سمپاشی، برداشت محصول، خرمن‌کوبی، جمع‌آوری، بارگیری و ترابری محصول ثبت و سپس بر مبنای ضریب تبدیل انرژی (۱/۹۵ مگاژول در ساعت) انرژی ورودی (یا مصرفی) نیروی انسانی برحسب مگاژول در هکتار هم‌ارز گردید (جدول ۱).

برآورد مصرف سوخت: تراکتورهای مورد استفاده در آذربایجان شرقی بطور غالب از نوع رومانی و فرگوسن بوده و میانگین قدرت آن‌ها ۶۵ اسب بخار بود. مصرف سوخت تراکتور برای هر ساعت ۱۱/۴ لیتر برآورد گردید.

برآورد انرژی مصرفی ادوات: ابتدا ظرفیت موثر هر یک از ادوات لازم در خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی با توجه به عرض کار، راندمان دستگاه و سرعت ماشین از رابطه (۱) به دست آمد (Koocheki and Hosseini, 1994).

$$EC = \frac{W \times (Em \times Vm)}{1000} \quad (1)$$

که در آن EC ظرفیت موثر ادوات (هکتار در ساعت)، W عرض کار (متر)، Em راندمان دستگاه (درصد) و Vm سرعت

انرژی مصرفی برای تولید گندم برحسب مگاژول در هکتار اعمال می‌شود. بهره‌وری انرژی یکی از مهم‌ترین سنجه‌های انرژی است که میزان تولید دانه گندم به ازای مصرف یک مگاژول انرژی را مشخص می‌کند. برای برآورد بهره‌وری انرژی از معادله زیر استفاده گردید.

$$EP = \frac{GY}{IE} \quad (5)$$

که در آن EP بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) بوده و دیگر متغیرها پیشتر معرفی گردید.

سناریوهای آینده پژوهی: بمنظور ایجاد و بازسازی شرایط مصرف انرژی در آینده برای تولید گندم بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده و اطلاعات جمع‌آوری شده، از سناریونویسی بعنوان یکی از اساسی‌ترین شیوه‌های آینده‌پژوهی استفاده گردید. با توجه به شرایط فعلی دریاچه ارومیه، منابع‌های آب در حوضه این دریاچه محدود بوده و ارزش آب آبیاری افزون بر جنبه اقتصادی از رویکرد محیط‌زیست نیز قابل توجه است. بنابراین در این پژوهش، روش‌های مدیریت مصرف آب در تولید گندم، بعنوان سناریوهای آینده‌پژوهی انتخاب گردید.

رفتارهای آبیاری تولیدکنندگان گندم با تکمیل پرسشنامه شناسایی شده و سناریوهای مدیریت آبیاری بر مبنای این رفتارها به شرح جدول ۲ انتخاب گردید. میزان آب مصرفی در نوبت‌های مختلف آبیاری در شرایط سناریوهای دوم تا پنجم از طریق اندازه‌گیری مستقیم و در شرایط سناریوی اول بصورت برآورد، به‌دست آمد. تغییرهای عملکرد گندم به ازای آب مصرفی حاصل از داده‌های اندازه‌گیری شده و توصیه شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب (Farshi *et al.*, 1998) رسم و استفاده گردید.

نتایج و بحث

الف) تحلیل تأثیر سیستم‌های خاک ورزی بر بیان و بهره‌وری انرژی در تولید گندم

در فرآیند تولید گندم، انرژی لازم برای تأمین نیروی انسانی، کودپاشی، بذرپاشی یا بذرکاری، ایجاد و تخریب نهر و فارو، سم‌پاشی، آبیاری، برداشت محصول و ترابری بعنوان انرژی مصرفی مستقیم تلقی می‌شود. میزان نهاده‌های مصرفی در واحد سطح

فرآیند تولید محصول گندم، عملکرد شامل دانه و کاه گندم می‌باشد. میزان انرژی تولیدی (خروجی) هر کیلوگرم دانه و کاه گندم بترتیب ۱۴/۴۸ و ۹/۲۵ مگاژول می‌باشد (جدول ۱). عملکرد حاصل از کشت هر هکتار گندم در انرژی تولیدی ضرب گردید و انرژی تولیدی (خروجی) دانه و کاه گندم محاسبه شد (Koocheki and Hosseini, 1994; Rajaby *et al.*, 2012).

ارزیابی سنجه‌های انرژی: برای ارزیابی انرژی در سیستم‌های تولیدی کشاورزی از سنجه‌های مختلفی استفاده می‌شود. در این پژوهش، سنجه‌های انرژی خالص، کارایی انرژی، انرژی ویژه و بهره‌وری انرژی در تولید گندم با استفاده از روابط زیر برآورد گردید (Mandal *et al.*, 2002; Mani *et al.*, 2007; Rathke *et al.*, 2007; Rajaby *et al.*, 2012). در ارزیابی سنجه‌های انرژی از سه متغیر انرژی ورودی (یا مصرفی)، انرژی خروجی (یا تولیدی) و عملکرد گندم استفاده می‌شود. سنجه‌های انرژی خالص از تفاوت انرژی تولیدی و مصرفی و بصورت زیر برآورد شد.

$$NE = OE - IE \quad (2)$$

که در آن NE انرژی خالص (گیگاژول در هکتار)، OE مجموع انرژی تولیدی در مزرعه توسط دانه و کاه گندم (گیگاژول در هکتار) و IE مجموع انرژی مصرفی در فرآیند تولید محصول گندم (گیگاژول در هکتار) است. کارایی انرژی حاصل نسبت انرژی تولیدی به انرژی مصرفی بوده و از رابطه زیر برآورد شد.

$$EE = \frac{OE}{IE} \quad (3)$$

که در آن EE کارایی انرژی (بدون بعد) بوده و OE و IE پیشتر معرفی گردید. انرژی ویژه میزان انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم از دانه گندم می‌باشد. انرژی ویژه از معادله زیر محاسبه گردید:

$$SE = \frac{IE}{GY} \quad (4)$$

که در آن SE انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم) و GY عملکرد دانه گندم (کیلوگرم در هکتار) است. در رابطه اخیر، مجموع

جدول ۱- هم‌ارز انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌ها در فرآیند تولید گندم (Koocheki and Hosseini, 1994)

Table 1. Equivalent energy for inputs and outputs in the wheat production process (Koocheki and Hosseini, 1994)

هم‌ارز انرژی (مگاژول بر واحد) Equivalent energy (MJ/ Dimensions)	واحد Dimensions	ورودی‌ها / خروجی‌ها Inputs/ Outputs
ورودی‌ها Inputs		
1.95	ساعت hr	نیروی انسانی Labors
17.60	کیلوگرم Kg	بذر مصرفی گندم Wheat seed
86.70	کیلوگرم Kg	وزن ماشین‌آلات و تجهیزهای پمپاژ Weights of machines
73.70	کیلوگرم Kg	کود ازته N fertilizer
13.40	کیلوگرم Kg	کود فسفره P fertilizer
40.00	لیتر L	گازوئیل Gasoline
3.60	کیلووات ساعت KWhr	الکتریسیته Electricity
84.90	لیتر L	علف کش 2,4-D 2,4-D
113.75	لیتر L	علف‌کش سافیکس Herbicide
خروجی‌ها Outputs		
14.48	کیلوگرم Kg	دانه گندم Wheat grain
9.25	کیلوگرم Kg	کاه گندم Wheat straw

ماشین‌آلات در عملیات خاک‌ورزی مرسوم ۲۹۸۹ مگاژول در هکتار بود. پس از عملیات خاک‌ورزی، در مرحله‌های کاشت و داشت گندم و در عملیات ایجاد فارو و نه‌ر، بذرپاشی یا بذرکاری، کودپاشی و سم‌پاشی از ماشین‌آلات استفاده می‌شود. میزان ماشین‌آلات لازم در مرحله‌های کاشت و داشت گندم در هر دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم برابر ۳/۹ ساعت در هکتار با میانگین مصرف سوخت ۴۴/۳ لیتر در هکتار و هم‌ارز انرژی مصرفی ۱۷۷۵ مگاژول در هکتار بود (جدول ۲). برای آبیاری مزرعه‌های گندم از منبع‌های آب زیرزمینی استفاده گردید. دبی چاه مزرعه ۲۸ لیتر در ثانیه و مدت آبیاری در طول فصل رشد گندم ۱۴/۸ ساعت و میزان انرژی مصرفی برابر ۹۰۹ مگاژول در

هکتار) و میزان انرژی هم‌ارز نهاده‌ها (مگاژول در هکتار) که بطور مستقیم در فرآیند تولید گندم در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم مشارکت داشته‌اند. در جدول ۲ نشان داده شده است. میانگین ساعت کار نیروی انسانی در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بترتیب برابر ۱۸۳ و ۱۷۸ ساعت در هکتار معادل با ۳۵۶ و ۳۴۷ مگاژول در هکتار بود.

در روش کشت مرسوم عملیات خاک‌ورزی شامل استفاده از ماشین‌آلات در عملیات شخم زمین، کاربرد دیسک و لولر می‌باشد. میزان ماشین‌آلات مورد نیاز در عملیات خاک‌ورزی مرسوم بطور میانگین ۶/۵ ساعت در هکتار با میانگین مصرف سوخت ۷۵/۶ لیتر در هکتار بود. میزان انرژی مصرفی

خاک‌ورزی حفاظتی سهم مصرف انرژی هر کدام از نهاده‌های وزن ماشین‌آلات، کود ازته، بذرگندم و تأمین آب بترتیب ۲۶، ۲۵، ۲۲ و ۵ درصد از کل انرژی ورودی بود (جدول‌های ۲ و ۳)، عبارت دیگر از کل انرژی ورودی حدود ۷۹ درصد آن توسط این نهاده‌ها و ۲۱ درصد آن توسط دیگر نهاده‌ها، به مصرف رسیده است.

در سیستم خاک‌ورزی مرسوم سهم مصرف انرژی نهاده‌های وزن ماشین‌آلات، کود ازته، بذرگندم و تأمین آب بترتیب برابر ۲۲، ۱۹، ۲۱ و ۵ درصد از کل انرژی ورودی بود (جدول‌های ۲ و ۳). حدود ۶۷ درصد از کل انرژی ورودی توسط این چهار نهاده و ۳۳ درصد از آن توسط دیگر نهاده‌ها استفاده شده است بنابراین پیشرفت بهره‌وری مصرف کود و آب، کاهش وزن ماشین‌آلات و تجهیزها و استفاده از میزان مناسب بذرگندم می‌تواند بعنوان راهکارهای مؤثر برای صرفه جویی در انرژی ورودی بشمار آید. در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی، از کل انرژی ورودی که برای تولید گندم مصرف شده، حدود ۲۳ درصد آن (۳۸۵۳ مگاژول در هکتار) بطور مستقیم برای نیروی انسانی، سوخت ماشین‌آلات در مرحله‌های خاک‌ورزی، کاشت، داشت، برداشت و ترابری محصول و نیز عملیات آبیاری مصرف شده است. در صورتی که ۷۷ درصد باقیمانده (۱۲۹۸۱ مگاژول

هکتار در هر دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بود (جدول ۲). بدین ترتیب میزان انرژی مصرفی نهاده‌ها بطور مستقیم در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بترتیب برابر ۳۸۵۳ و ۶۸۳۳ مگاژول در هکتار بود (جدول ۲). ملاحظه می‌شود میزان انرژی مصرفی مستقیم در خاک‌ورزی حفاظتی حدود ۴۴ درصد کمتر از انرژی مصرفی در خاک‌ورزی مرسوم بود.

وزن ماشین‌آلات و تجهیزهای پمپاژ مورد استفاده در فرآیند تولید گندم ۵۰ کیلوگرم در هکتار و انرژی مصرفی آن ۴۳۳۶ مگاژول در هکتار به دست آمد. بدین ترتیب میزان انرژی مصرفی نهاده‌ها بطور غیرمستقیم در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم ۱۲۹۸۱ مگاژول در هکتار بود. مجموع انرژی مصرفی مستقیم و غیرمستقیم برای تولید گندم در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بترتیب ۱۶۸۳۴ و ۱۹۸۱۴ مگاژول در هکتار شد. ملاحظه می‌شود انرژی مصرفی برای تولید گندم با خاک‌ورزی حفاظتی ۱۵ درصد کم‌تر از انرژی مصرفی در خاک‌ورزی مرسوم حاصل شد. سهم هر کدام از نهاده‌های مصرفی از کل انرژی ورودی در تولید گندم در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم متفاوت بود. در هر دو سیستم خاک‌ورزی، وزن ماشین‌آلات، کود ازته، بذر گندم و تأمین آب بیشترین سهم از مصرف انرژی را به خود اختصاص دادند. در سیستم

جدول ۲- سناریوهای آینده پژوهی مدیریت آبیاری گندم

Table 2. Future scenarios for irrigation management of wheat

عنوان سناریو	برنامه آبیاری	شرایط کاربرد	نوبت آبیاری در فصل رشد	مقدار آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	درصد تجمعی رفتار آبیاری تولیدکنندگان
Scenarios	Irrigation strategy	Application conditions	Irrigation events	Applied water (m ³ ha ⁻¹)	Farmers (%)
سناریوی اول Scenario 1	بیش آبیاری Over-irrigation	وفور آب Excess water	6	5000	2*
سناریوی دوم Scenario 2	بیش آبیاری Over-irrigation	وفور آب Excess water	5	4000	7
سناریوی سوم Scenario 3	آبیاری کامل Full-irrigation	نرمال Sufficient water	4	3600	26
سناریوی چهارم Scenario 4	کم آبیاری Deficit-irrigation	کمبود آب Deficit water	2	1600	89
سناریوی پنجم Scenario 5	کم آبیاری Deficit-irrigation	کمبود آب Deficit water	1	800	100

* یعنی ۲ درصد از تولیدکنندگان گندم از این سناریو برای مدیریت آبیاری گندم استفاده می‌کنند.

* 2% of wheat production use this scenario to manage wheat irrigation.

در هکتار) بطور غیرمستقیم و از طریق استفاده از کود شیمیایی و سم‌های کشاورزی، بذر گندم و وزن ماشین‌آلات مصرف گردیده است. در سیستم خاک‌ورزی مرسوم نیز ۳۴ درصد از کل انرژی ورودی که هم‌ارز ۶۸۳۳ مگاژول انرژی در هکتار بود بطور مستقیم و ۶۶ درصد از کل انرژی ورودی (۱۲۹۸۱ مگاژول در هکتار) بطور غیرمستقیم مصرف شده است. در پژوهشی از کلانرژی ورودی، انرژی‌های غیرمستقیم حدود ۷۵ درصد و انرژی‌های مستقیم ۲۵ درصد در تولید گندم مشارکت داشته‌اند (Rajaby *et al.*, 2012). بطور معمول در یک سیستم رایج کشاورزی حدود ۳۳ درصد انرژی ورودی به کشور مستقیم و ۶۷ درصد آن به شکل غیرمستقیم مصرف می‌شود (Koocheki and Hosseini, 1994).

در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی ۷۰ درصد از انرژی ورودی برای تولید گندم از منبع‌های تجدیدناپذیر تأمین گردید. در واقع انرژی که بصورت سوخت، سم‌ها و مواد شیمیایی، کود شیمیایی و ماشین‌آلات مصرف می‌شود، همه از منبع‌هایی انرژی تجدیدناپذیر تأمین گردید. بدیهی است ۳۰ درصد باقیمانده که بصورت نیروی انسانی، بذر گندم و آب آبیاری مصرف گردید، همه از منبع‌های انرژی تجدیدپذیر تأمین شد. در سیستم خاک‌ورزی مرسوم ۲۵ درصد از انرژی مصرفی برای تولید گندم از منبع‌های انرژی تجدیدپذیر و ۷۵ درصد از آن از منبع‌های انرژی تجدیدناپذیر تأمین گردید بعبارت دیگر، با تغییر سیستم خاک‌ورزی از مرسوم به حفاظتی ۵ درصد از انرژی مصرفی از منبع‌های انرژی تجدیدناپذیر به منبع‌های انرژی تجدیدپذیر انتقال یافته بود. سهم انرژی تجدیدناپذیر در تولید دیگر محصولات، متفاوت از سهم انرژی تجدیدناپذیر در تولید گندم می‌باشد. در گزارشی سهم انرژی تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر در تولید جو بترتیب ۶۶ و ۳۴ درصد برآورد شده است (Ghasemi Mobtaker *et al.*, 2010). در نتایج پژوهش روی انرژی مصرفی در تولید چغندر قند اعلام گردیده سهم انرژی تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر بترتیب ۸۲ و ۱۸ درصد بود (Erdal *et al.*, 2007). در مورد تولید پنبه نیز گزارش شده ۹۶ درصد از انرژی مصرفی از منبع‌های تجدیدناپذیر و ۴ درصد از آن از منبع‌های تجدیدپذیر بوده است

(Ahmadi and Agha-Ali Khani, 2012). در تولید گوجه‌فرنگی، انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بترتیب ۳۱ و ۶۹ درصد از کل انرژی ورودی بوده است (Raee Jadidi *et al.*, 2010).

از کل ترکیب‌های شیمیایی دانه و کاه گندم، پروتئین، چربی و کربوهیدرات قابلیت انرژی زایی دارند. درصد ترکیب‌های پروتئین، چربی و کربوهیدرات دانه گندم بترتیب ۱۳/۳، ۲/۰ و ۶۸/۷ درصد و کاه گندم بترتیب ۴/۳، ۳/۴ و ۴۳/۳ درصد است (Koocheki and Hosseini, 1994). مجموع ارزش انرژی زایی دانه و کاه گندم بترتیب ۱۴/۴۹ و ۹/۲۵ مگاژول در کیلوگرم به‌دست آمد. بر مبنای عملکرد دانه و کاه گندم در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم و ارزش انرژی زایی اجزاء محصول گندم، نتایج برآورد ارزش گرمایی دانه و کاه گندم در جدول ۴ بیان شده است. عملکرد دانه در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بترتیب ۳۵۵۱ و ۳۴۵۰ کیلوگرم در هکتار و ارزش گرمایی آن بترتیب ۵۱۴۳۸ و ۴۹۹۷۵ مگاژول در هکتار بود. ملاحظه می‌شود انرژی تولیدی دانه گندم در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی حدود سه درصد بیشتر از انرژی تولیدی دانه در سیستم مرسوم بود. عملکرد کاه در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بترتیب ۳۴۱۳ و ۵۵۲۷ کیلوگرم در هکتار و انرژی تولیدی آن بترتیب ۳۱۵۷۸ و ۵۱۱۳۷ مگاژول در هکتار به‌دست آمد (جدول ۴). عملکرد کاه و انرژی تولیدی آن در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی حدود ۳۸ درصد کم‌تر از عملکرد کاه و انرژی تولیدی آن در سیستم خاک‌ورزی مرسوم بود. به نظر می‌رسد رویکرد حفظ بقایای گیاهی در مزرعه‌های گندم در حد ۳۸ درصد در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی، به‌احتمال موجب کاهش عملکرد کاه در مزرعه بوده باشد. انرژی تولیدی دانه نسبت به کاه در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی ۱۹۸۶۰ مگاژول در هکتار بیشتر و در سیستم خاک‌ورزی مرسوم ۱۱۶۲ مگاژول در هکتار کم‌تر حاصل شد. مجموع ارزش انرژی تولیدی دانه و کاه گندم در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بترتیب ۸۳۰۱۶ و ۱۰۱۱۱۲ بود (جدول ۴). در واقع انرژی تولیدی محصول دانه و کاه گندم در سیستم خاک‌ورزی مرسوم ۲۲ درصد نسبت به انرژی تولیدی خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر گردید. تفاوت انرژی تولید توسط

جدول ۳- میانگین مقدار نهاده‌ها و انرژی هم‌ارز مستقیم در فرآیند تولید گندم در دو سیستم کشاورزی حفاظتی و مرسوم
 Table 3. The mean of direct inputs and their equivalent energy in the wheat production process for two conservation and conventional tillage systems

درصد از مجموع انرژی مصرفی مستقیم و غیرمستقیم Percent of consumed energy		انرژی هم‌ارز (مگاژول در هکتار) (Equivalent energy (MJ ha ⁻¹))		مقدار در واحد سطح (هکتار) Quantities per ha		نهاده (واحد) Inputs
خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	خاک‌ورزی حفاظتی Conservation tillage	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	خاک‌ورزی حفاظتی Conservation tillage	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	خاک‌ورزی حفاظتی Conservation tillage	
1.75	2.11	347	356	178.13	183	نیروی انسانی (ساعت) Labor (hr)
5.70	0.00	1130	0	2.47	0	عملیات شخم زمین (ساعت) Plowing operations (hr)
2.40	0.00	475	0	1.04	0	کاربرد دیسک (ساعت) Disk (hr)
6.98	0.00	1384	0	3.03	0	استفاده از لولر (ساعت) Leveler (hr)
2.12	2.49	420	420	0.92	0.92	کودپاشی (ساعت) Fertilizing
1.28	1.51	254	254	0.56	0.56	بذرپاشی یا بذرکاری (ساعت) Seeding (hr)
2.28	2.69	452	452	0.99	0.99	ایجاد فارو (ساعت) Furrowing (hr)
2.31	2.71	457	457	1.00	1.00	عملیات سم پاشی (ساعت) Chemical practices (hr)
0.97	1.14	192	192	0.42	0.42	ایجاد و تخریب نهر (ساعت) Creating and destructing of canal (hr)
4.59	5.40	909	909	14.80	14.80	عملیات آبیاری (ساعت) Irrigation (hr)
2.95	3.48	585	585	1.28	1.28	برداشت محصول (ساعت) Harvesting (hr)
1.15	1.35	228	228	0.50	0.50	ترابری محصول (ساعت) Transporting (hr)
34.48	22.89	6833	3853			مجموع انرژی مصرفی (مگاژول در هکتار) Consumed energy (MJ ha ⁻¹)

(Abdollahpour and Zaree, 2010). در جدول ۵ نتایج ارزیابی سنجه‌های انرژی شامل انرژی خالص، کارایی انرژی، انرژی ویژه و بهره‌وری انرژی در تولید گندم با دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بیان شده است. انرژی خالص در تولید دانه گندم در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم به ترتیب ۳۴/۶ و ۳۰/۲ گیگاژول در هکتار و انرژی خالص در تولید دانه گندم در

دانه و کاه گندم در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم ۱۸۰۹۶ مگاژول در هکتار بود. در پژوهش دیگری میانگین انرژی تولیدی دانه و کاه گندم را به ترتیب ۵۸ و ۳۴ گیگاژول در هکتار گزارش نموده‌اند (Rajaby et al., 2012). در مطالعه‌ای انرژی تولیدی دانه گندم دیم ۲۱ گیگاژول در هکتار و انرژی تولیدی کاه گندم ۱۸ گیگاژول در هکتار برآورد شده است

جدول ۴- میانگین مقدار نهاده‌ها و انرژی هم‌ارز غیرمستقیم در فرآیند تولید گندم در دو سیستم کشاورزی حفاظتی و مرسوم
 Table 4. The mean of indirect inputs and their equivalent energy in the wheat production process for two conservational and conventional tillage systems

درصد از مجموع انرژی مصرفی مستقیم و غیرمستقیم Percent of consumed energy		انرژی هم‌ارز (مگاژول در هکتار) Equivalent energy (MJ ha ⁻¹)		مقدار در واحد سطح (هکتار) Quantities per ha		نهاده (واحد) Inputs
خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	خاک‌ورزی حفاظتی Conserva- tional tillage	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	خاک‌ورزی حفاظتی Conserva- tional tillage	خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage	خاک‌ورزی حفاظتی Conserva- tional tillage	
21.38	25.17	4237	4237	57.5	57.5	ازت (کیلوگرم) N (kg)
1.55	1.82	307	307	23.0	23.0	فسفر (کیلوگرم) P (kg)
0.64	0.75	127	127	1.5	1.5	علف کش 2,4-D (لیتر) 2,4-D (L)
1.15	1.35	228	228	2.0	2.0	علف کش سافیکس (لیتر) Herbicide (L)
18.91	22.25	3746	3746	213	213	بذر گندم (کیلوگرم) Wheat seed (kg)
21.88	25.76	4336	4336	50	50	وزن ماشین‌آلات و تجهیزات پمپاژ (کیلوگرم) Machinery weight
65.52	77.11	12981	12981			مجموع انرژی مصرفی (مگاژول در هکتار) Energy used (MJ ha ⁻¹)

حفاظتی ۴/۹ و در خاک‌ورزی مرسوم ۵/۱ بود. تفاوت کارایی انرژی در تولید اجزای محصول گندم در دو سیستم خاک‌ورزی یاد شده از نظر آماری معنی دار نبود. در پژوهش‌های قبلی کارایی انرژی در تولید گندم بین ۰/۸ تا ۶/۳ گزارش شده است (Canakci *et al.*, 2005; Sing *et al.*, 2007; Tipi *et al.*, 2009; Rajaby *et al.*, 2012; Abdollahpour and Zaree, 2010). میزان کارایی انرژی در تولید گوجه‌فرنگی ۰/۶ (Race Jadidi *et al.*, 2010) و در تولید پنبه توسط ۱/۱ (Ahmadi and Agha-Ali Khani, 2012) گزارش شده است. انرژی ویژه عملکرد سیستم‌های تولیدات کشاورزی، مصرف انرژی ورودی را نشان می‌دهد. در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم برای تولید یک کیلوگرم دانه گندم بترتیب ۴/۷ و ۵/۷ مگاژول انرژی لازم است. در گزارش دیگری اعلام شده برای تولید یک کیلوگرم دانه گندم به ۴ مگاژول انرژی

این دو سیستم خاک‌ورزی ۱۴/۸ و ۳۱/۳ گیگاژول در هکتار بود. در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم، انرژی خالص در تولید زیست‌توده گندم بترتیب برابر ۶۶/۲ و ۳/۸۱ گیگاژول در هکتار بود (جدول ۵). کارایی انرژی از تقسیم انرژی خروجی از مزرعه به انرژی ورودی حاصل گردید (جدول ۵). در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم، کارایی انرژی در تولید دانه بترتیب برابر ۳/۱ و ۲/۵ بود بعبارت دیگر به ازای وارد نمودن هر ژول انرژی برای تولید دانه گندم در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بترتیب ۳/۱ و ۲/۵ ژول انرژی حاصل گردید. کارایی انرژی در تولید کاه گندم در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بترتیب ۱/۹ و ۲/۶ بود، یعنی به ازای وارد نمودن هر واحد انرژی در فرآیند تولید کاه در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بترتیب ۱/۹ و ۲/۶ واحد انرژی تولید گردید. کارایی انرژی تولید زیست‌توده (دانه و کاه) گندم در خاک‌ورزی

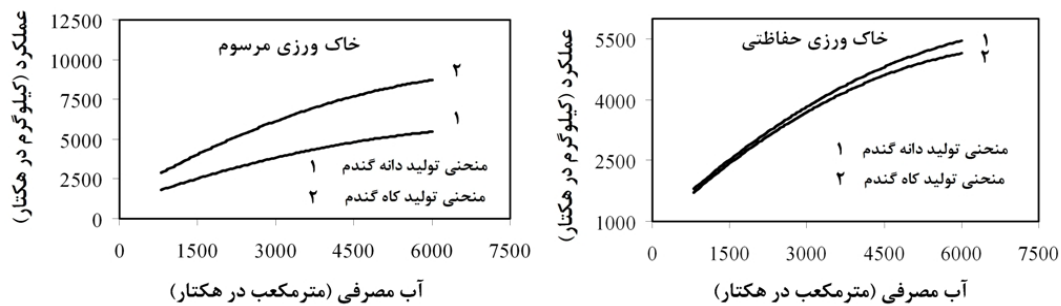
در دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم ۱۷۷۵ مگاژول در هکتار بود. میزان انرژی مصرفی ماشین آلات در مرحله برداشت و ترابری محصول در هر دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم ۸۱۳ مگاژول در هکتار بود. انرژی ورودی از طریق تأمین آب با سناریوهای مدیریت آبیاری متفاوت و با کاربرد سیستم‌های خاک ورزی مشابه بود. انرژی مصرفی تأمین آب با سناریوهای اول تا پنجم بترتیب ۱۳۳۷، ۱۰۶۹، ۹۶۲، ۴۲۸، ۲۱۸ مگاژول در هکتار بود. گروه بندی سناریوها از نظر انرژی مصرفی تأمین آب نشان داد سناریوهای اول تا سوم با میانگین انرژی مصرفی ۱۱۲۳ مگاژول در هکتار در گروه اول و سناریوهای چهارم و پنجم با میانگین انرژی مصرفی ۳۲۱ مگاژول در هکتار در گروه دوم قرار داشتند. میزان انرژی مصرفی نهاده‌ها بطور مستقیم در سیستم خاک ورزی حفاظتی نسبت به مرسوم بطور میانگین ۵۶ درصد به دست آمد. میانگین انرژی مصرفی مستقیم سناریوهای اول تا سوم (گروه اول) ۵۵۵۷ مگاژول در هکتار و سناریوهای سوم و چهارم (گروه دوم) ۴۷۵۵ مگاژول در هکتار به دست آمد. بیشترین و کمترین انرژی مصرفی مستقیم با اعمال سناریوهای اول و پنجم و با میانگین ۵۷۷۰ و ۴۶۴۸ مگاژول در هکتار بود. میزان انرژی مصرفی غیرمستقیم در سناریوهای مدیریت آبیاری و سیستم‌های خاک ورزی مشابه جدول ۳ و با میزان ۱۲۹۸۱ مگاژول در هکتار بود. از مجموع انرژی مصرفی مستقیم و غیرمستقیم، انرژی مصرفی کل در تولید محصول به دست می‌آید. انرژی مصرفی کل با کاربرد سیستم خاک ورزی حفاظتی حدود ۸۰ درصد انرژی مصرفی سیستم خاک ورزی مرسوم بود بعبارت دیگر استفاده از سیستم خاک ورزی حفاظتی نسبت به خاک ورزی مرسوم موجب کاهش مصرف انرژی در تولید گندم گردید. با این وجود تفاوت آماری آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد. بیشترین و کمترین انرژی مصرفی با اعمال سناریوهای اول و پنجم به دست آمد. بیشترین و کمترین انرژی مصرفی در خاک ورزی مرسوم ۲۰۲۴۲ و ۱۹۰۲۸ و در خاک ورزی حفاظتی ۱۷۲۶۲ و ۱۶۰۴۸ مگاژول در هکتار حفاظتی حدود ۸۰ درصد انرژی مصرفی سیستم خاک ورزی مرسوم بود بعبارت دیگر استفاده از سیستم خاک ورزی حفاظتی

نیاز است (Rajaby *et al.*, 2012). برای تولید دانه گندم، میزان انرژی ویژه در گزارشی ۵/۲ (Canakci *et al.*, 2005) و در گزارشی دیگری میزان آن ۹/۳ مگاژول بر کیلوگرم اعلام شده است (Piringer and Steinberg, 2006). گزارش شده برای تولید یک کیلوگرم دانه گندم به ۹/۷ مگاژول انرژی نیاز بوده است (Abdollahpour and Zaree, 2010). سنجح بهره‌وری انرژی مقدار تولید دانه گندم به ازای مصرف یک مگاژول انرژی را نشان می‌دهد. در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم به ازای استفاده از یک مگاژول انرژی بترتیب ۲۱۰ و ۱۷۰ گرم دانه گندم تولید شده است. نتایج پژوهشی نشان داده به ازای کاربرد یک مگاژول انرژی بطور میانگین ۲۵۰ گرم دانه گندم تولید شده بود (Rajaby *et al.*, 2012). نتایج پژوهش‌های دیگر نشان داد با مصرف یک مگاژول انرژی میزان دانه تولید شده بین ۱۲۷ و ۲۵۶ گرم بود (Canakci *et al.*, 2005; Piringer and Steinberg 2006; Abdollahpour and Zaree, 2010).

ب) تحلیل تأثیر سناریوهای آینده پژوهی بر بیلان و بهره‌وری انرژی در تولید گندم

تغییرهای عملکرد گندم به ازای آب مصرفی حاصل از داده‌های اندازه‌گیری شده و توصیه شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب (Farshi *et al.*, 1998) بصورت شکل ۱ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد تأثیر سناریوهای مدیریت آبیاری بر روی انرژی ورودی از طریق نیروی انسانی، عملیات شخم زمین، کاربرد دیسک، استفاده از لولر، عملیات کودپاشی، عملیات بذرکاری، ایجاد فارو، عملیات سم پاشی، ایجاد تخریب نهر، برداشت و ترابر محصول، مصرف کودها و مواد شیمیایی، بذر گندم و وزن ماشین‌آلات و تجهیزات در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نبود. میانگین انرژی مصرفی نیروی انسانی در دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم بترتیب ۳۵۶ و ۳۴۷ مگاژول در هکتار بود (جدول ۲).

میزان انرژی مصرفی ماشین آلات در عملیات خاک ورزی مرسوم ۲۹۸۹ مگاژول در هکتار بود. میزان انرژی مصرفی از طریق کاربرد ماشین‌آلات در مرحله‌های کاشت و داشت گندم



شکل ۱- تغییرهای عملکرد گندم به ازای آب مصرفی در دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم

Fig. 1- Wheat yield variation versus water applied in both conservational and conventional tillage systems

ارزش گرمایی حاصل از اعمال سناریوهای اول تا سوم در یک گروه (گروه ۱) و عملکرد و ارزش گرمایی حاصل از سناریوهای چهارم و پنجم در گروه دیگر (گروه ۲) قرار داشتند. میانگین عملکرد کاه در گروه‌های اول و دوم به ترتیب ۵۹۶۴ و ۲۸۱۴ کیلوگرم در هکتار و ارزش گرمایی گروه‌های اول و دوم به ترتیب ۵۵۱۸۰ و ۲۶۰۳۶ مگاژول در هکتار بود. تفاوت ارزش گرمایی زیست‌توده گندم در دو سیستم خاک ورزی در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نگردید. با این وجود، انرژی تولیدی محصول به‌دست آمده از خاک ورزی حفاظتی بطور میانگین ۸۰ درصد انرژی تولیدی از خاک ورزی مرسوم بود. میانگین انرژی تولیدی زیست‌توده حاصل از اعمال سناریوهای گروه اول (سناریوهای اول تا سوم) و گروه دوم (سناریوهای چهارم و پنجم) به ترتیب ۱۲۲۶۷۴ و ۵۷۸۸۱ مگاژول در هکتار بود. در پژوهش دیگری میانگین انرژی تولیدی دانه و کاه گندم در شرایط اقلیمی - زراعی گرگان به ترتیب ۵۸ و ۳۴ گیگاژول در هکتار گزارش شده است (Rajaby *et al.*, 2012). ارزش گرمایی تولیدی دانه و کاه گندم در پژوهشی به ترتیب ۲۱ و ۱۸ گیگاژول در هکتار گزارش شده است (Abdollahpour and Zaree, 2010).

سهم نهاده‌های مصرفی از کل انرژی ورودی در تولید محصول با سناریوهای مدیریت آبیاری بطور تقریب مشابه و با دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم متفاوت بود. در هر دو سیستم خاک ورزی وزن ماشین آلات، کود ازته، بذر مصرفی و آب آبیاری بیشترین نقش را در مصرف انرژی داشتند. در سیستم خاک ورزی مرسوم حدود ۸۰ درصد و در سیستم خاک ورزی حفاظتی حدود ۷۰ درصد از مصرف انرژی توسط چهار نهاده یاد شده صورت گرفت. میانگین سهم هر یک از نهاده‌های وزن

نسبت به خاک ورزی مرسوم موجب کاهش مصرف انرژی در تولید گندم گردید. با این وجود تفاوت آماری آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد. بیشترین و کمترین انرژی مصرفی با اعمال سناریوهای اول و پنجم به‌دست آمد. بیشترین کمترین انرژی مصرفی در خاک ورزی مرسوم ۲۰۲۴۲ و ۱۹۰۲۸ و در خاک ورزی حفاظتی ۱۷۲۶۲ و ۱۶۰۴۸ مگاژول در هکتار به‌دست آمد.

ارزش گرمایی دانه، کاه و زیست‌توده گندم بر مبنای عملکرد دانه، کاه و زیست‌توده و ارزش انرژی زایی اجزای محصول گندم حاصل از کاربرد سناریوهای مدیریت آبیاری با دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم برآورد گردید (جدول ۴). نتایج نشان داد تفاوت عملکرد دانه و در نتیجه ارزش گرمایی آن در دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نگردید. ولی تفاوت عملکرد کاه و ارزش گرمایی آن در دو سیستم خاک ورزی متفاوت بود (جدول ۴). بیشترین و کمترین عملکرد دانه با مقادیر ۵۳۱۶ و ۱۸۷۰ کیلوگرم در هکتار و متناسب با آن بیشترین و کمترین ارزش گرمایی با مقادیر ۷۶۹۹۹ و ۲۷۰۹۲ مگاژول در هکتار از سناریوهای اول و پنجم به‌دست آمد (جدول ۴). گروه بندی عملکرد دانه و ارزش گرمایی حاصل از سناریوهای مدیریت آبیاری نشان داد عملکرد دانه و ارزش گرمایی حاصل از سناریوهای اول تا سوم در یک گروه (گروه ۱) و عملکرد و ارزش گرمایی حاصل از سناریوهای چهارم و پنجم در گروه دیگر (گروه ۲) قرار داشتند. میانگین عملکرد دانه در گروه‌های اول و دوم به ترتیب ۴۶۵۹ و ۲۱۹۸ کیلوگرم در هکتار و ارزش گرمایی گروه‌های اول و دوم به ترتیب ۶۷۴۹۳ و ۳۱۸۴۵ مگاژول در هکتار بود. نتایج نشان داد عملکرد کاه و

فرنگی بیشتر بود (Ghasemi Mobtaker *et al.*, 2010; Raee) و (Jadidi *et al.*, 2010).

انرژی خالص یکی از سنجه‌های انرژی در تولید محصول است که از تفاوت انرژی تولیدی و مصرفی در تولید یک محصول در سطح مزرعه به دست می‌آید. مقادیر سنجه‌های انرژی خالص در تولید گندم تحت پنج سناریوی مختلف مدیریت آبیاری با دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد انرژی خالص در تولید دانه، کاه و زیست‌توده گندم در سیستم خاک ورزی حفاظتی به ترتیب ۱۱۰، ۴۰ و ۷۸ درصد انرژی خالص در تولید محصول با سیستم خاک ورزی مرسوم بود (جدول ۵). با این وجود، تفاوت انرژی خالص در تولید دانه، کاه و زیست‌توده گندم در دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نبود. گروه بندی مقادیر سنجه انرژی خالص در تولید محصول نشان داد انرژی خالص در تولید دانه، کاه و زیست‌توده گندم تحت سناریوهای اول، دوم و سوم در یک گروه (گروه اول) و انرژی خالص در تولید محصول تحت سناریوهای چهارم و پنجم در گروه دیگر (گروه دوم) قرار داشتند. برای گروه‌های اول و دوم میانگین سنجه انرژی خالص در تولید دانه به ترتیب ۴۹ و ۱۴ گیگاژول در هکتار، در تولید کاه به ترتیب ۳۷ و ۹ گیگاژول در هکتار و در تولید زیست‌توده گندم به ترتیب ۱۰۴ و ۴۱ گیگاژول در هکتار بود. دامنه تغییرات انرژی خالص در تولید زیست‌توده گندم در پژوهش بین ۵۸ و ۱۰۸ گیگاژول در هکتار گزارش شده است (Rajaby *et al.*, 2012). دامنه یاد شده با وجود تفاوت اندک مقداری، با یافته پژوهش حاضر سازگار است. همچنین نتایج نشان داد با کاهش مصرف آب، عملکرد دانه، کاه و زیست‌توده گندم کاهش یافته و در نتیجه دلیل کاهش انرژی خروجی از مزرعه، انرژی خالص در تولید محصول کاهش یافت.

کارایی انرژی یکی از سنجه‌های انرژی در تولید محصول است که با استفاده از رابطه (۳) و از نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی در تولید دانه، کاه و زیست‌توده گندم به دست آمد. میزان این سنجه در تولید گندم تحت سناریوهای مختلف

ماشین آلات، کود ازته، بذر مصرفی و آب آبیاری در سیستم خاک ورزی مرسوم به ترتیب ۲۶، ۲۵، ۲۲ و ۵ درصد و در سیستم خاک ورزی حفاظتی به ترتیب ۲۲، ۲۲، ۱۹ و ۴ درصد بود. سهم مصرف انرژی عملیات شخم زمین و استفاده از لولر در سیستم خاک ورزی مرسوم ۷ درصد بود. بنابراین کاهش وزن ماشین آلات و تجهیزات، افزایش بهره‌وری کود، استفاده از میزان مناسب بذر و پیشرفت بهره‌وری مصرف آب و کاهش عملیات شخم می‌تواند راهکارهای اساسی برای کاهش مصرف انرژی در تولید گندم بشمار آید. در سیستم خاک ورزی حفاظتی، از کل انرژی مصرفی برای تولید گندم بطور میانگین ۲۲ درصد آن بطور مستقیم برای نیروی انسانی، سوخت در مرحله‌های خاک ورزی، کاشت، داشت، برداشت و ترابری محصول و تأمین آب آبیاری مصرف شده است. در صورتی که بطور میانگین ۷۸ درصد باقیمانده بطور غیرمستقیم از طریق استفاده از کودهای شیمیایی و سم‌های کشاورزی، بذر گندم و وزن ماشین آلات و تجهیزات مصرف شده است. در سیستم خاک ورزی مرسوم ۳۴ درصد از انرژی ورودی بطور مستقیم و ۶۶ درصد آن بطور غیرمستقیم مصرف شده است. یافته اخیر با گزارش پژوهشگران در مورد سهم مصرف مستقیم و غیر مستقیم از انرژی ورودی برای تولید گندم مطابقت و سازگاری دارد (Koocheki and Hosseini, 1994). در سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم به ترتیب ۷۱ و ۷۵ درصد از انرژی ورودی برای تولید گندم از منبع‌های تجدیدناپذیر تأمین می‌شود. این منبع‌های شامل سوخت، سم‌ها و مواد شیمیایی، کودهای شیمیایی و ماشین آلات می‌باشد. در دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم به ترتیب ۲۹ و ۲۵ درصد از انرژی مصرفی برای تولید محصول از منبع‌ها تجدیدناپذیر می‌شود. یادآور می‌شود منبع‌های تجدیدپذیر شامل نیروی انسانی، بذر گندم و آب آبیاری می‌باشد. با تغییر سیستم خاک ورزی از مرسوم به حفاظتی می‌توان ۵ درصد از انرژی مصرفی از منبع‌های تجدیدناپذیر را به منبع‌های انرژی تجدیدپذیر منتقل نمود. سهم مصرف انرژی از منبع‌های تجدیدناپذیر در تولید گندم نسبت به تولید چغندر قند و پنبه کمتر (Ahmadi; Erdal *et al.*, 2007; and Agha-Ali Khani, 2012) و نسبت به تولید جو و گوجه

جدول ۵- میزان انرژی تولیدی توسط دانه و کاه گندم در دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم

Table 5. The energy produced by wheat grain and straw from both conservational and conventional tillage systems

ارزش گرمایی (مگاژول در هکتار) Thermal value (MJ ha ⁻¹)		عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (Kg ha ⁻¹)		اجزاء محصول Productions	تیمارهای آزمایشی و سناریوهای آینده پژوهی Treatments and scenarios
خاک ورزی حفاظتی Conservational tillage	خاک ورزی مرسوم Conventional tillage	خاک ورزی حفاظتی Conservational tillage	خاک ورزی مرسوم Conventional tillage		
49975	51438	3450	3551	دانه گندم Wheat grain	
51137	31578	5527	3413	کاه گندم Wheat straw	تیمارهای آزمایشی Treatments
101112	83016	8977	6964	زیست توده گندم Biological yield	
76999	76999	5316	5316	دانه گندم* Wheat grain	
47214	78691	5103	8505	کاه گندم Wheat straw	سناریوی اول Scenario 1
124213	155690	10419	13821	زیست توده گندم Biological yield	
65117	65117	4495	4495	دانه گندم Wheat grain	
39928	66547	4315	7192	کاه گندم Wheat straw	سناریوی دوم Scenario 2
105045	131664	8810	11687	زیست توده گندم Biological yield	
60364	60364	4167	4167	دانه گندم Wheat grain	
37014	61690	4001	6668	کاه گندم Wheat straw	سناریوی سوم Scenario 3
97378	122054	8168	10835	زیست توده گندم Biological yield	
36598	36598	2527	2527	دانه گندم Wheat grain	
22441	37402	2425	4042	کاه گندم Wheat straw	سناریوی چهارم Scenario 4
59039	74000	4952	6569	زیست توده گندم Biological yield	
27092	27092	1870	1870	دانه گندم Wheat grain	
16612	27687	1795	2992	کاه گندم Wheat straw	سناریوی پنجم Scenario 5
43704	54779	3665	4862	زیست توده گندم Biological yield	

تولید دانه گندم با دو سیستم خاک ورزی و با سناریوهای مدیریت آبیاری در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد برای تولید یک کیلوگرم دانه گندم با خاک ورزی حفاظتی انرژی کمتری (۱۵ درصد کم‌تر) نسبت به خاک ورزی مرسوم مصرف شد. گرچه تفاوت انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم دانه در دو سیستم خاک ورزی در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نبود. سناریوهای مدیریت آبیاری اول تا سوم (گروه ۱) انرژی ویژه مشابهی با میانگین ۴ مگاژول بر کیلوگرم داشتند. سناریوهای چهارم و پنجم (گروه ۲) برای تولید یک کیلوگرم دانه گندم بطور میانگین ۸/۲ مگاژول انرژی مصرف نموده‌اند.

گزارش‌های پژوهشی نشان داده برای تولید یک کیلوگرم دانه گندم در شرایط فاریاب و دیم بطور میانگین ۴/۰ و ۷/۹ مگاژول انرژی مصرف شده است (Rajaby *et al.*, 2012; Abdollahpour and Zaree, 2010). انرژی ویژه در تولید گندم در دیگر کشورها از ۳/۹ تا ۵/۲ مگاژول بر کیلوگرم گزارش شده است (Canakci *et al.*, 2005; Piringger and Steinberg, 2006) (جدول ۵).

بهره‌وری انرژی مقدار تولید دانه گندم به ازای مصرف یک مگاژول انرژی را نشان می‌دهد. در این پژوهش برای برآورد این سنجه از رابطه (۵) استفاده گردید. مقادیر این سنجه با دو سیستم خاک ورزی و با سناریوهای مدیریت آبیاری در جدول ۵ نشان داده شده است. به ازای مصرف یک مگاژول انرژی، کاربرد سیستم خاک ورزی حفاظتی میزان دانه بیش‌تری (حدود ۲۰ درصد) را نسبت به کاربرد سیستم خاک ورزی مرسوم تولید نموده است (جدول ۵). با این وجود، تفاوت محصول تولید شده به ازای مصرف یک مگاژول انرژی در هر دو سیستم خاک ورزی در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نبود. سناریوهای مدیریت آبیاری اول تا سوم (گروه ۱) بهره‌وری مشابهی با میانگین ۲۵۳ گرم بر مگاژول و سناریوهای چهارم و پنجم (گروه ۲) بهره‌وری مشابهی با میانگین ۱۲۵ گرم بر مگاژول تولید نموده‌اند. یافته‌های پژوهش‌های قبلی نشان داد دامنه بهره‌وری انرژی در تولید دانه گندم از ۱۲۷ تا ۲۵۶ گرم بر مگاژول بوده است

مدیریت آبیاری با دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم در جدول ۵ بیان شده است. نتایج نشان داد با کاربرد سیستم خاک ورزی حفاظتی کارایی انرژی در تولید دانه بطور میانگین ۲۰ درصد بیشتر از کارایی انرژی حاصل از سیستم خاک ورزی مرسوم بود (جدول ۵). با کاربرد سیستم خاک ورزی حفاظتی کارایی انرژی در تولید کاه و زیست‌توده گندم بترتیب ۷۱ و ۹۴ درصد حفاظتی کارایی انرژی در تولید دانه بطور میانگین ۲۰ درصد بیشتر از کارایی انرژی حاصل از سیستم خاک ورزی مرسوم بود (جدول ۵). با کاربرد سیستم خاک ورزی حفاظتی کارایی انرژی در تولید کاه و زیست‌توده گندم بترتیب ۷۱ و ۹۴ درصد کارایی انرژی حاصل از سیستم خاک ورزی مرسوم بود (جدول ۵). از نظر آماری و در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت کارایی انرژی در تولید دانه، کاه و زیست‌توده گندم در دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم معنی دار نشد. گروه بندی سناریوهای مدیریت آبیاری از نظر کارایی انرژی نشان داد میزان این سنجه در تولید دانه، کاه و زیست‌توده با سناریوهای اول، دوم و سوم در یک گروه (گروه اول) و میزان سنجه با سناریوهای چهارم و پنجم در گروه دیگر (گروه دوم) قرار داشتند. میانگین کارایی انرژی در تولید دانه در گروه‌های اول و دوم بترتیب ۳/۷ و ۱/۸ بود. بعبارت دیگر به ازای ورود هر ژول انرژی برای تولید دانه گندم با سناریوهای گروه اول ۳/۷ ژول و با سناریوهای گروه دوم ۱/۸ ژول انرژی حاصل شد. میانگین کارایی انرژی در تولید کاه در گروه‌های اول و دوم بترتیب ۲/۹ و ۱/۴ بود. برای گروه‌های اول و دوم میانگین کارایی انرژی در تولید زیست‌توده گندم بترتیب ۶/۶ و ۳/۳ به‌دست آمد. در پژوهش‌های قبلی میزان این سنجه با واریانس قابل ملاحظه‌ای که از دامنه آن از ۰/۸ تا ۶/۳ بود گزارش شده است (Canakci *et al.*, 2005; Sing *et al.*, 2007; Tipi *et al.*, 2009; Rajaby *et al.*, 2012; Abdollahpour and Zaree, 2010).

انرژی ویژه بعنوان یکی از سنجه‌های انرژی، مقدار انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم دانه گندم را نشان می‌دهد که با رابطه (۴) برآورد گردید. مقادیر سنجه انرژی ویژه در

جدول ۶- سنجه های انرژی در تولید گندم با اعمال تیمار آزمایشی و سناریوی آینده پژوهی با دو سیستم خاک ورزی حفاظتی و مرسوم

Table 6. Energy indices for wheat production by experimental treatments and future studies scenarios from two conservational and conventional tillage systems

بهره وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) EP (kg MJ ⁻¹)	انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم) SE (MJ kg ⁻¹)	کار آیی انرژی EE	انرژی خالص (گیگاژول در هکتار) NE (GJ ha ⁻¹)	انرژی ورودی یا مصرفی (گیگاژول در هکتار) EI (GJ ha ⁻¹)	انرژی خروجی یا تولیدی (گیگاژول در هکتار) EO (GJ ha ⁻¹)	اجزاء محصول Productions
تیمار آزمایشی: سیستم خاک ورزی حفاظتی						
0.21	4.73	3.1	34.6	16.8	51.4	دانه گندم Wheat grain
-	-	1.9	14.8	16.8	31.6	کاه گندم Wheat straw
-	-	4.9	66.2	16.8	83.0	زیست توده گندم Biological yield
تیمار آزمایشی: سیستم خاک ورزی مرسوم						
0.17	5.74	2.5	30.2	19.8	50.0	دانه گندم Wheat grain
-	-	2.6	31.3	19.8	51.1	کاه گندم Wheat straw
-	-	5.1	81.3	19.8	101.1	زیست توده گندم Biological yield
سناریوی اول: سیستم خاک ورزی حفاظتی						
0.31	3.2	4.5	60.0	17.3	77.0	دانه گندم Wheat grain
		2.7	30.0	17.3	47.2	کاه گندم Wheat straw
		7.2	107.0	17.3	124.2	زیست توده گندم Biological yield
سناریوی اول: سیستم خاک ورزی مرسوم						
0.26	3.8	3.8	57.0	20.2	77.0	دانه گندم Wheat grain
		3.9	58.0	20.2	78.7	کاه گندم Wheat straw
		7.7	135.0	20.2	155.7	زیست توده گندم Biological yield
سناریوی دوم: سیستم خاک ورزی حفاظتی						
0.27	3.8	3.8	48.0	16.9	65.1	دانه گندم Wheat grain
		2.4	23.0	16.9	39.9	کاه گندم Wheat straw

			6.2	88.0	16.9	105.1	زیست توده گندم Biological yield
سناریوی دوم: سیستم خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage, scenario 2							
0.23	4.4	3.3	45.0	20.0	65.1	دانه گندم Wheat grain	
		3.3	47.0	20.0	66.5	کاه گندم Wheat straw	
		6.6	112.0	20.0	131.7	زیست توده گندم Biological yield	
سناریوی سوم: سیستم خاک‌ورزی حفاظتی Conservational tillage, scenario 3							
0.25	4.1	3.6	43.0	16.9	60.4	دانه گندم Wheat grain	
		2.2	20.0	16.9	37.0	کاه گندم Wheat straw	
		5.8	80.0	16.9	97.4	زیست توده گندم Biological yield	
سناریوی سوم: سیستم خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage, scenario 3							
0.21	4.8	3.0	40.0	19.9	60.4	دانه گندم Wheat grain	
		3.10	42.0	19.9	61.7	کاه گندم Wheat straw	
		6.10	102.0	19.9	122.1	زیست توده گندم Biological yield	
سناریوی چهارم: سیستم خاک‌ورزی حفاظتی Conservational tillage, scenario 4							
0.16	6.5	2.2	20.0	16.3	36.4	دانه گندم Wheat grain	
		1.4	6.0	16.3	22.6	کاه گندم Wheat straw	
		3.6	43.0	16.3	59.0	زیست توده گندم Biological yield	
سناریوی چهارم: سیستم خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage, scenario 4							
0.13	7.7	1.9	17.0	19.3	36.6	دانه گندم Wheat grain	
		1.9	18.0	19.3	37.4	کاه گندم Wheat straw	
		3.8	55.0	19.3	74.0	زیست توده گندم Biological yield	
سناریوی پنجم: سیستم خاک‌ورزی حفاظتی Conservational tillage, scenario 5							
0.12	8.6	1.7	11.0	16.1	27.1	دانه گندم Wheat grain	

		1.0	1.0	16.1	16.6	کاه گندم Wheat straw
		2.7	28.0	16.1	43.7	زیست توده گندم Biological yield
سناریوی پنجم: سیستم خاک‌ورزی مرسوم 5 Conventional tillage, scenario 5						
0.10	10.2	1.4	8.0	19.0	27.1	دانه گندم Wheat grain
		1.5	9.0	19.0	27.7	کاه گندم Wheat straw
		2.9	36.0	19.0	54.8	زیست توده گندم Biological yield

با انتخاب مناسب ادوات و تجهیزات موجب بهبودی سنجه‌های انرژی در تولید گندم شود.

ب) کاهش وزن ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده در عملیات کاشت، داشت و برداشت می‌تواند موجب بهبود سنجه‌های انرژی گردد.

ج) یافته‌ها نشان داد بر مبنای سنجه‌های انرژی، استفاده از آبیاری کامل (با چهار بار آبیاری و میانگین آب مصرفی ۳۶۰۰ مترمکعب) در شرایط وجود آب و استفاده از برنامه کم آبیاری (سناریوی پنجم با یکبار آبیاری و میانگین آب مصرفی ۸۰۰ مترمکعب) در شرایط خشک‌سالی و کمبود آب برای تولید گندم در این دشت می‌تواند موجب بهبود سنجه‌های انرژی گردد.

ج) انتخاب میزان مناسب بذر گندم با توجه به قوه نامیه آن می‌تواند موجب بهبود سنجه‌های انرژی گردد.

د) برنامه ریزی مناسب کوددهی می‌تواند موجب مصرف بهینه کود از ته و پیشرفت سنجه‌های انرژی در تولید گندم گردد.

ه) پیشنهاد می‌شود ارزیابی بیلان و بهره‌وری انرژی در استفاده از سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم در تولید محصول‌های مختلف زراعی و در شرایط خاک‌شناختی و اقلیمی مختلف با بهره‌برداری از منابع‌های مختلف آب (سطحی و زیرزمینی) بویژه برای دوره‌های میان مدت در چارچوب برنامه پژوهشی با انتخاب مناسب تیمارهای آزمایشی به انجام برسد.

۶) پیشنهاد می‌شود تحلیل بیلان انرژی برای تولید محصول‌های کشاورزی در حاشیه دریاچه ارومیه با استفاده از گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری با نیاز آبی و کودی کم، با پتانسیل زیاد

Canakci *et al.*, 2005; Piringger and Steinberg, 2006; (Abdollahpour and Zaree, 2010; Rajaby *et al.*, 2012).

نتیجه گیری

در این پژوهش، بیلان انرژی و بهره‌وری آن در تولید گندم در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم در شرایط مصرف کنونی و آینده ارزیابی گردید. تغییرهای انرژی مصرفی از ۱۶/۸ تا ۱۹/۸ و انرژی تولیدی از ۳۱/۸ تا ۶۷/۵ گیگاژول در هکتار بود. کارایی انرژی از ۱/۸ تا ۳/۷ و بهره‌وری انرژی از ۱۲۵ تا ۲۵۳ گرم بر مگاژول بود. یافته‌ها نشان داد وزن ماشین‌آلات کشاورزی، کود از ته، بذر مصرفی گندم و تأمین آب آبیاری در دو سیستم خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم درصد قابل توجهی از انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین بهینه‌سازی وزن ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده در مزرعه، انتخاب مقدار مناسب بذر مصرفی و بهینه‌سازی مصرف کود از ته و آب آبیاری، می‌تواند موجب بهبودی سنجه‌های انرژی در تولید گندم آبی در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه باشد.

در شرایط کاربرد سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم در شرایط وجود آب و خشک‌سالی راهکارهای زیر برای بهینه سازی مصرف انرژی در تولید گندم پیشنهاد می‌شود:

الف) یافته‌ها نشان داد رویکرد سنجه‌های انرژی، استفاده از سیستم خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم در تولید دانه گندم ارجحیت دارد. هرچند در موارد متعدد، تفاوت آماری سنجه‌های انرژی در تولید محصول معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد اجرای مناسب و درست عملیات خاک‌ورزی حفاظتی

کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی به خاطر تصویب و تأمین اعتبارات لازم برای اجرای این پروژه پژوهشی قدردانی می‌نمایند.

بهره‌وری مصرف آب و انرژی و با پتانسیل کم گرمایش جهانی، صورت گیرد.

سیاسگزاری

نویسندگان مقاله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

منابع

Abdollahpour, S.H. and Zaree, S., 2010. Evaluation of wheat energy balance under rainfed farming in Kerman-shah. *Journal of Sustainable Agricultural Science*. 20(2), 98-106. (In Persian with English abstract).

Ahmadi, M. and Agha-Ali Khani, M., 2012. Analysis of energy use in cotton production in Golestan for suggesting procedures to enhance resources productivity. *Journal of Agroecology*. 4(2), 151-158. (In Persian with English abstract).

Anonymous, 1993. Iranian comprehensive water plan. The plains development features. V (1): North and Azarbaijan Watersheds. Jamab consulting Company. p. 288. (In Persian with English abstract).

Anonymous, 2014. Crop production features (2012-2013) in Iran. Agricultural Ministry. Iran, p. 167 (In Persian with English abstract).

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

Erdal, G., Esengun, K., Erial, H. and Gunduz, O., 2007. Energy use and economic analysis of sugarbeet production in Tokat province of Turkey. *Energy*. 32, 35-41.

Farshi, A.A., Shariati, M.R., Jaroollahi, R., Ghaemi, M.R., Shahabifar, M. and Tavallaei, M.M., 1997. An estimate of water requirement of main field crops and orchards in Iran, I: Field crops. Agricultural Education, Agricultural Research, Education and Extension Organization of Iran. Karaj, Iran, pp. 567 (In Persian with English abstract).

Ghasemi Mobtaker, H., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S. and Akram, A., 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan on Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 137, 367-372. (In Persian with English abstract).

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

Heydargholinezhad Kanari, M. and Hassanzadeh Ghorot Tappeh, A., 2003. Evaluation of energy balance in rainfed wheat in Mazandaran. *Journal of Pazhohesh and Sazandehi*. 58(1), 63-65. (In Persian with English abstract).

Koga, N., 2008. An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 125, 101-110. (In Persian with English abstract).

Koocheki, A. and Hosseini, M., 1994. Energy efficiency in agricultural ecosystems. University of Mashhad public. Mashhad, Iran. (In Persian with English abstract).

Leach, G., 1976. Energy and food production. IPC Science and Technology Press Ltd. London, UK.

Mandal, K.G., Saha, K.P., Ghosh, P.K., Hati, K.M. and Bandyopadhyay, K.K., 2002. Bioenergy and economic analysis of Soybean based crop production systems in Central India. *Biomass and Bioenergy*. 23, 337-345.

Mani, I., Kumar, P., Panwar, J.S. and Kant, K., 2007.

- Variation in energy consumption in production of wheat-maize with varying altitudes in Hilly Regions of Himachal Pradesh, India. *Energy*. 32, 2336-2339.
- Pervanchon, F., Bockstaller, C. and Girardin, P., 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agricultural Systems*. 72, 149-172.
- Piringer, G. and Steinberg, L.J., 2006. Re-evaluation of energy use in wheat production in the United States. *Journal of Ecology*. 10, 149-167.
- Raee Jadidi, M., Homayounifar, M., Sobohi Sabiuni, M. and Kheradmand, V., 2010. Investigation of energy efficiency and productivity in tomato production. *Journal of Agricultural Economics and Development*. 24(3), 363-370. (In Persian with English abstract)
- Rajaby, M.H., Soltani, A., Zeinali, E. and Soltani, E., 2012. Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Journal of plant production*. 19(3), 143-171. (In Persian with English abstract).
- 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.
- Sing, H., Sing, A.K., Kushwala, H. L. and Sing, A., 2007. Energy consumption pattern of wheat production in India. *Energy*. 32, 1848-1854.
- Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Ghasemi Varnamkhasti, M., Rahimzadeh, R. and Karimi, M., 2009. Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*. 34, 41-45.
- Tipi, T., Cetil, B. and Vardar, A., 2009. An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*. 7, 352-356.
- Uhlin, H., 1998. Why energy productivity is increasing An I-O analysis of Swedish agriculture. *Agricultural Systems*. 56, 443-465.
- Valadiani, A., Hassanzadeh Gort Tapeh, A. and Valadiani, A., 2005. Evaluation of energy balance in dryland wheat farms in East Azarbaijan and its effect on environment. *Journal of Agricultural Sciences*. 15(2), 1-12. (In Persian with English abstract).
- Witney, B., 1995. Choosing and using farm machines. Land Technology Ltd, UK.





Environmental Sciences Vol.17/ No.2 / Summer 2019

81-102

Futures study of energy use efficiency in irrigated wheat production in eastern Urmia Lake

Abolfazl Naseri* and Ramin Nikanfar

Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran

Received: 2018.06.30 Accepted: 2018.11.05

Naseri, A. and Nikanfar, R., 2019. Futures study of energy use efficiency in irrigated wheat production in eastern Urmia Lake. *Environmental Sciences*. 17(2): 81-102.

Introduction: In all countries, agricultural production is dependent on energy, especially fossil fuels. About 10 to 20 percent of the total energy used in developed countries is consumed in food production. Efficient use of energy in the agricultural sector is one of the fundamental necessities for sustainable agriculture development, because increasing energy efficiency will save fossil fuels and reduce air pollution. In addition, the global energy crisis and the need for targeted energy consumption in agricultural production make the research on energy efficiency analysis in wheat production necessary. Energy efficiency values in wheat production in the east of Urmia Lake have not been assessed so far. Therefore, the present study was conducted with the aim of evaluating future research of energy indices, including net energy, energy efficiency, specific energy, and energy productivity as well as providing suitable and applicable solutions for improving energy indices in wheat production.

Material and methods: In this research, energy productivity in two conservational and conventional tillage systems in wheat production in the east of Urmia Lake was evaluated for two years by measuring and collecting data. Energy indices such as net energy, energy efficiency, specific energy, and energy efficiency were determined in wheat production. According to the current conditions of Lake Urmia, water resources were limited and, therefore, the value of irrigation water was significant from the environmental and economic point of view. Consequently, in order to rebuild future conditions of energy consumption in wheat production, irrigation scenarios were applied as a future study strategy. Irrigation management scenarios included three conditions of full, deficit and excessive irrigation in wheat farms.

Results and discussion: Energy productivity from conservational and conventional tillage systems were 210 and 170 g MJ⁻¹, respectively. Future study scenarios were comprised of three conditions of full, deficit and over-irrigation in wheat

*Corresponding Author: *Email Address*. ab.naseri@areeo.ac.ir

farms. The energy consumed to produce wheat with the first (full and over-irrigation) and second (deficit irrigation) scenarios were 18.5 and 17.7 GJ ha⁻¹, respectively. The energy produced of wheat grains by the first and second group scenarios was respectively 67.5 and 31.8 GJ ha⁻¹. The average energy efficiency in grain production with first and second groups was 3.7 and 1.8 and energy productivity was 253 and 125 g MJ⁻¹, respectively. The effective strategies for increasing energy productivity in wheat production in the northwest of the country may include the application of light-weighted machinery, selection of the appropriate amount of seeds, and enhancement of fertilizer and water use efficiency.

Conclusion: Results revealed that in terms of energy indices, the application of the conservational tillage system is preferable over conventional tillage in wheat grain production. However, the energy indices by two tillage systems were not statistically different in wheat production. It seems that the appropriate practices of conservation tillage by appropriate selection of equipment would improve the energy indices in wheat production.

Keywords: Energy balance, Energy efficiency, irrigated wheat, Conservational agriculture.