نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 8، شماره 2، تابستان 1395، ص. 295-281

Journal of Agroecology
Vol. 8, No. 2, Summer 2016, p. 281-295

بررسی جریان انرژی در مزارع گندم دیم و آبی شهرستان شهرکرد تحت دو روش خاکورزی

حسین کاظمی[1*]، پریسا علیزاده[2] و علی نهبندان[2]

تاریخ دریافت: 1394/04/17
تاریخ پذیرش: 1394/08/17

کاظمی، ح.، علیزاده، پ.، و نهبندان، ع. 1395. بررسی جریان انرژی در مزارع گندم دیم و آبی شهرستان شهرکرد تحت دو روش خاکورزی. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، 8(2): 295-281.

چکیده

تجزیه و تحلیل انرژی یک بوم‌نظام زراعی به منظور دستیابی به تولید پایدار ضروری است. در این بررسی جریان انرژی در دو سامانه زراعی گندم آبی و دیم تحت دو نظام خاکورزی در شهرستان شهرکرد در سال 1392 با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه با کشاورزان برآورد و مقایسه گردید. این مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار مدیریت (کشت دیم بدون خاکورزی و با خاکورزی، کشت آبی بدون خاکورزی و با خاکورزی) اجرا شد، که در آن 10 مزارع در هر مدیریت به عنوان تکرار در نظر گرفته شد. در این تحقیق شاخص‌های کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی خالص، انرژی ویژه، انرژی مستقیم و غیرمستقیم و انرژی تجدیدپذیر و غیر تجدیدپذیر محاسبه شدند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که حداکثر انرژی ورودی مربوط به سامانه کشت آبی با خاکورزی (معادل 29586 مگاژول در هکتار) و حداکثر انرژی خروجی در سامانه کشت آبی بدون خاکورزی (معادل 70743 مگاژول در هکتار) بود. بیشترین (2/43) و کمترین (1/03) کارایی مصرف انرژی در بخش دانه، به ترتیب مربوط به مدیریت کشت آبی بدون خاکورزی و دیم با خاکورزی بود. همچنین بیشترین انرژی مصرفی گندم آبی در هر دو سامانه بدون خاکورزی و با خاکورزی به ترتیب مربوط به کود نیتروژن (9429 و 1092 مگاژول در هکتار) و بعد از آن به آبیاری (8323 و 5117 مگاژول در هکتار) تعلق داشت و برای گندم دیم نیز بیشترین انرژی مصرفی به ترتیب در دو سامانه با خاکورزی و بدون خاکورزی مربوط به کود نیتروژن (8529 و 7220 مگاژول در هکتار) و بذر (4367 و 2412 مگاژول در هکتار) محاسبه شد. در هر دو مزارع آبی و دیم روش‌های بدون خاکورزی، دارای انرژی غیرمستقیم و غیر تجدیدپذیر بیشتری نسبت به روش‌های دارای خاکورزی بودند. به طور کلی از نظر شاخص‌های جریان انرژی، بهترین سامانه کشت در این منطقه مربوط به کشت آبی با روش بدون خاکورزی بود. بنابراین جهت کاهش مصرف منابع انرژی تجدیدناپذیر در منطقه مورد مطالعه، کاهش مصرف کودهای شیمیایی از جمله نیتروژن از طریق مدیریت بهینه کود، قرار دادن بقولات در تناوب زراعی، استفاده از کود سبز، استفاده از کود دامی و آلی و نیز مدیریت صحیح آب آبیاری توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، انرژی مستقیم و غیرمستقیم، کارایی انرژی

مقدمه

امروزه مصرف انرژی در بخش کشاورزی به دلیل رشد جمعیت و تهیه مواد غذایی کافی برای این جمعیت در حال رشد افزایش یافته است. محدودیت منابع انرژی و اثرات سوء مصرف منابع انرژی تجدیدناپذیر همچون سوخت‌های فسیلی روی محیط زیست و سلامت انسان به دلیل استفاده نادرست از انرژی، مطالعه الگوی مصرف انرژی و نهاده‌های انرژی‌بر را در بوم‌نظام‌ها ضروری ساخته است (Yuosefi & Madavi Damghani, 2013). استفاده کارامد از انرژی در کشاورزی یکی از شرایط مهم در پیدایش کشاورزی پایدار است، زیرا موجب صرفه‌جویی اقتصادی، حفظ سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی‌های محیطی می‌گردد. از این‌رو، ارزیابی انرژی مصرفی در سامانه‌های مختلف کشاورزی یکی از روش‌های تعیین سطح پایداری در این سامانه‌ها است. در حقیقت محاسبه انرژی ورودی و انرژی خروجی بوم‌نظام‌های کشاورزی دو عامل کلیدی برای تعیین کارایی مصرف انرژی و همچنین کارایی بوم‌شناختی در سامانه‌های

1 و 2- به ترتیب استادیار و دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: hossein_k_p@yahoo.com)

کشاورزی می‌باشد. بنابراین شناسایی روش‌هایی برای تولید محصول که بتواند کارایی مصرف انرژی را به حداکثر و تولید گازهای گلخانه-ای و مصرف سوخت‌های فسیلی را به حداقل برساند، باید از اولویت-های پژوهشی و تحقیقاتی بخش کشاورزی به شمار آید (Alipour et al., 2013).

مصرف انرژی در مزرعه برای تولید محصولات کشاورزی شامل دو بخش مصرف مستقیم و غیرمستقیم انرژی می‌باشد. نوع اول شامل انرژی سوخت مصرفی تراکتورها، موتورپمپ‌ها، خشک‌کن‌ها و دیگر ماشین‌ها و نیز انرژی الکتریکی مصرفی الکتروموتورها می‌باشد. مصرف غیرمستقیم انرژی در ساخت تجهیزات مزرعه، کود، آفت‌کش و نیز برای فرآیندسازی و حمل و نقل موادغذایی است (Shirchi Skoohi, 2011). تاکنون مطالعات فراوانی روی ورودی‌ها و خروجی-های انرژی در بوم‌نظام‌های کشاورزی ایران و سایر کشورها صورت گرفته است. در کشور ما اکثر این مطالعات به محصولات اساسی مثل گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.)، سویا (*Glycine max* L. Merr.)، ذرت (*Zea mays* L.) معطوف شده و کمتر نوع مدیریت مزارع تولید این محصولات باهم مقایسه شده است. به عنوان مثال نسبت انرژی گندم دیم در شهرستان اقلید بررسی و مشخص شد که نسبت انرژی با در نظر گرفتن دانه 1/06 و با درنظر گرفتن مجموع دانه و کاه 1/60 می‌باشد (Molaei et al., 2009). همچنین کل انرژی نهاده‌های گندم دیم به طور متوسط 12/49 گیگاژول در هکتار بوده و با توجه به کل انرژی ستانده (دانه و کاه) 20/056 گیگاژول در هکتار، افزوده انرژی برابر 7/54 گیگاژول در هکتار به دست آمد. در بررسی موازنه انرژی در مزارع گندم دیم استان کرمانشاه گزارش شد که میزان کارایی انرژی برای محصول دانه و کاه به ترتیب 0/818 و 0/703 می‌باشد (Abdollahpour & Zarei, 2010). همچنین صفا و طباطبایی (Safa & Tabatabaei, 2002) در بررسی انرژی مصرفی در تولید گندم آبی و دیم در منطقه ساوه نسبت انرژی را در گندم آبی 1/17 تا 0/68 و در گندم دیم 0/99 به دست آوردند که بیشترین انرژی نهاده‌های مصرفی در گندم آبی مربوط به آبیاری (20/9 گیگاژول در هکتار) و در گندم دیم مربوط به کود شیمیایی (5/7 گیگاژول در هکتار) بوده است. بررسی‌های تولید دیم و آبی گندم در خراسان شمالی نشان داد که انرژی ورودی به مزارع گندم آبی (به عنوان یک سامانه پرنهاده) 45376 مگاژول در هکتار بود که حدود 4/8 برابر انرژی ورودی به مزارع گندم دیم (به عنوان یک سامانه کم‌نهاده) می‌باشد (Ghorbani et al., 2011).

ارزیابی کل سوخت مصرفی در دو سامانه کشت گندم آبی و دیم در شهرستان ساوه نشان داد که مصرف سوخت به ترتیب برابر 598 و 74 لیتر در هکتار برای کشت گندم آبی و دیم است که از این میان بیشترین سهم سوخت مصرفی در سامانه کشت گندم آبی مربوط به عملیات آبیاری (78/4 درصد) و بیشترین سهم مصرف سوخت در کشت گندم دیم به عملیات خاکورزی (59 درصد) اختصاص یافت (Safa & Tabatabaei, 2002). در ارزیابی مزارع گندم آبی شهرستان ری مشخص شد که در بین نهاده‌های مصرفی بیشترین سهم از کل انرژی ورودی به ترتیب به کود شیمیایی نیتروژن (31/1 درصد)، سوخت گازوئیل (19/9 درصد) و ماشین‌آلات (12/1 درصد) اختصاص یافت (Alipour et al., 2013).

میزان انرژی ورودی برای تولید گندم در ترکیه توسط تیپی و همکاران (Tipi et al., 2009) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که تولید گندم در مجموع 20653/54 مگاژول در هکتار انرژی مصرف می‌کند. سینگ و همکاران (Singh et al., 2007)نیز به منظور بیشینه کردن عملکرد تولید گندم، به مقایسه الگوهای مصرف انرژی در نقاط مختلف هند پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که سطح فن‌آوری، انرژی‌های ورودی و عوامل اقلیمی- زراعی جزء مهم‌ترین عوامل تولید گندم به شمار می‌روند. ضمن این‌که بیشترین میزان انرژی ورودی برای گندم 17/8 گیگاژول در هکتار و بالاترین نسبت انرژی برابر با 5/2 به دست آمد. در ارزیابی تناوب کاشت گندم-ذرت مشخص شد که میزان انرژی مورد نیاز برای روش‌های خاکورزی حداقل، بدون خاکورزی و کشت روی پشته به ترتیب 34/3، 31/1 و 46 درصد کمتر از خاکورزی مرسوم است و در روش خاکورزی حداقل، 2/5 برابر بیشتر از روش خاکورزی معمول انرژی ذخیره می‌شود (Sharma et al., 2011). در مطالعه‌ای بوناری و همکاران (Bonari et al., 1995) گزارش کردند که کاهش عملیات خاکورزی منجر به 55 درصد مصرف سوخت کمتر در مقایسه با خاکورزی متعارف، بدون تغییر قابل توجهی در عملکرد محصول شده است.

محصول گندم به عنوان یکی از اصلی‌ترین مواد غذایی از جایگاه ویژه‌ای در دنیا برخوردار است. در سال 2013 کل سطح برداشت شده گندم در جهان 218/4 میلیون هکتار، میانگین عملکرد دانه 3264 کیلوگرم در هکتار و کل گندم تولید شده برابر 713 میلیون تن بوده

است. در ایران نیز گندم مهم‌ترین گیاه زراعی به شمار می‌رود به طوری‌که هر ساله بیش از 50 درصد از کل زمین‌های قابل کشت به زراعت گندم اختصاص داده می‌شود (Rajabi et al., 2012). سطح زیر کشت گندم در کل کشور در سال زراعی 92-1391 حدود 6/4 میلیون هکتار گزارش شده که سهم اراضی آبی 37/5 درصد و اراضی دیم 62/5 درصد است. در استان چهارمحال و بختیاری نیز سطح وسیعی از مزارع به کشت گندم اختصاص دارد. به طوری‌که، در سال زراعی 92-1391 سطح زیر کشت گندم در این استان 72219 هکتار (40678 هکتار آن به صورت دیم و 31540 هکتار آن به صورت آبی) و متوسط عملکرد کشت دیم و آبی به ترتیب 740/13 و 2010/1 کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Agriculture Yearbook, 2015). از آن‌جا که تاکنون مطالعه‌ای در مورد مصرف انرژی در تولید گندم در این استان صورت نگرفته است، بنابراین هدف از این تحقیق بررسی جنبه‌های مختلف مصرف و کارایی انرژی، ارایه پیشنهادها و راهکارهایی جهت کاهش مصرف انرژی در مزارع گندم شهرستان شهرکرد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه و نوع مدیریت زراعی: این تحقیق در شهرستان شهرکرد (عرض جغرافیایی بین 32 درجه و 20 دقیقه تا 32 درجه و 21 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی بین 50 درجه و 48 دقیقه تا 50 درجه و 50 دقیقه شرقی، با ارتفاع 2116 متر از سطح دریا و متوسط بارش سالانه 321/8 میلی‌متر) در سال 1392 اجرا گردید. طبق تقسیم‌بندی کوپن شهرکرد دارای اقلیم معتدل سرد با تابستان گرم و خشک می‌باشد. سطح زیرکشت کل اراضی این استان 139771 هکتار بوده که زیر کشت محصولات مختلفی مانند غلات، حبوبات، محصولات صنعتی، سبزیجات و غیره می‌باشد (Agriculture Yearbook, 2015). انجام عملیات زراعی از مرحله کاشت تا برداشت در مزارع از نیمه دوم مهر ماه آغاز و تا اواخر تیر ماه ادامه دارد. گاوآهن‌های مورد استفاده در اغلب مزارع آبی از نوع برگردان‌دار و در مزارع دیم از نوع قلمی بوده و به منظور خردکردن کلوخه‌ها و هموار کردن زمین جهت آماده‌سازی بستر بذر، بسته به نوع خاک زراعی و تمایل زارعین، تعداد به کارگیری دیسک‌ها بین یک تا دو نوبت متغیر است. خاکورزی اکثر مزارع شامل شخم با گاوآهن و سپس دیسک زدن می‌باشد. سطحی اندکی از مزارع (هکتار) هر ساله توسط روش‌های کم‌خاکورزی تهیه می‌گردد. بر اساس تنوع روش‌های تولیدی، امکانات موجود در سطح منطقه و نحوه مدیریت زارعین در امر تولید، از ماشین‌آلات و ادوات متنوع جهت انجام عملیات زراعی در این مزارع استفاده می‌شود. تراکتور مسی فرگوسن 285 و رومانی 650 از رایج‌ترین ماشین‌آلات منطقه شهرکرد می‌باشد. ارقام مورد استفاده در منطقه شهرکرد عمدتاً الوند و سرداری بوده که به ترتیب برای زراعت آبی و دیم به کار می‌روند. به طور متوسط با توجه به میزان آب قابل دسترس جهت آبیاری، بین چهار تا پنج نوبت در مزارع آبی، آبیاری توسط موتورهای پمپ گازوئیلی و برقی از منبع چاه صورت می‌گیرد. عملیات برداشت نیز در تمام مزارع توسط دستگاه کمباین جاندیر انجام شد. پس از برداشت، محصول گندم هر مزرعه به وسیله ماشین‌آلات مختلف نظیر کامیون، وانت بار و بارکش تراکتوری به سیلوها منتقل می‌گردد.

نحوه جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها: جمع‌آوری اطلاعات درباره نوع، تعداد و حجم فعالیت‌های متداول در زراعت گندم در شهرستان شهرکرد، از طریق مصاحبه حضوری با 40 کشاورز پیشرو گندمکار انجام شد. سطح زیرکشت گندم آبی شهرستان 3840 هکتار و گندم دیم 4960 هکتار در سال مورد تحقیق گزارش شده است. از کل اراضی آبی1850 هکتار آن تحت‌نظام کم‌خاکورزی است. همچنین 2270 هکتار از اراضی دیم نیز تحت‌نظام کم‌خاکورزی گزارش شده است. اراضی مورد مطالعه در این تحقیق، 219 هکتار شامل 78/5 هکتار اراضی آبی و 140/5 هکتار اراضی دیم در نظر گرفته شد. برای تأیید داده‌ها و اطلاعات از نظر کارشناسان کشاورزی ساکن در استان چهار محال بختیاری کمک گرفته شد. در این مصاحبه درباره تمامی اقدامات صورت گرفته طی مراحل آماده‌سازی مزرعه، کاشت، داشت و برداشت گندم اعم از نوع عملیات، ادوات مورد استفاده، تعداد دفعات، زمان و میزان سوخت مصرفی برای هر عملیات پرسش‌هایی از کشاورزان به عمل آمد و با توجه به معادل‌های انرژی (جدول 1)، میزان انرژی مصرفی برای هر نوع فعالیت و نهاده در سطح یک هکتار برآورد گردید. علاوه بر این، اطلاعات مربوط به میزان عملکرد دانه و کاه در هر مزرعه نیز جمع‌آوری شد. بدین منظور، میانگین کل تعداد ساعت کار نیروی انسانی، کل سوخت مصرفی موتور پمپ، کل سوخت مصرفی تراکتور، تعداد ساعت کار تراکتور، مقدار بذر مصرفی برای کاشت، حجم آب آبیاری، مقادیر کودهای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، میزان علف کش و حشره‌کش‌ها

مصرفی برای یک هکتار محاسبه گردید.

محاسبه شاخص‌های انرژی: معمولاً انرژی مصرفی در کشاورزی به چهار گروه انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم‌بندی می‌شوند (Kazemi et al., 2015). در این مطالعه انرژی‌های غیرمستقیم شامل بذر، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و ماشین‌آلات در نظر گرفته شد. در حالی‌که انرژی مستقیم در برگیرنده نیروی انسانی، سوخت مصرفی ماشین‌آلات و آب آبیاری مورد استفاده در تولید گندم است. انرژی تجدیدناپذیر شامل سوخت، کود و سموم شیمیایی، ماشین‌آلات کشاورزی و انرژی‌های تجدیدپذیر شامل نیروی انسانی، بذر و آب آبیاری بود.

با برآورد کل انرژی ورودی و خروجی، شاخص‌های ارزیابی انرژی از قبیل نسبت یا کارآیی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه، عملکرد انرژی خالص برای هر مزرعه با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (Soltani et al., 2013; Kazemi et al., 2015)

کارایی انرژی

معادله (1) $$ER = EO/EI$$

که در آن، ER: نسبت یا کارآیی انرژی، عددی است بدون واحد، EO: مجموع انرژی خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI: انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) می‌باشد.

بهره‌وری انرژی

$$EP = GY/EI \quad (2)$$

که در آن، EP: بهره‌وری انرژی (مگاژول بر کیلوگرم)، GY: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و EI: مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) می‌باشد.

انرژی ویژه

$$SE = EI/GY \quad (3)$$

که در آن، SE: انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم)، EI: مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) و GY: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد.

عملکرد انرژی خالص

$$NEY = EO - EI \quad (3)$$

که در آن، NEY: عملکرد انرژی خالص (مگاژول در هکتار)، EO: مجموع انرژی خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI: مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) می‌باشد.

داده‌های این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار نوع مدیریت (دیم بدون خاکورزی، دیم با خاکورزی، آبی بدون خاکورزی و آبی با خاکورزی) که در آن 10 مزرعه از هر مدیریت به عنوان تکرار در نظر گرفته شدند، با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9 تجزیه گردید. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که از لحاظ مجموع انرژی مصرفی جهت تولید گندم، کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب به مدیریت کشت دیم بدون خاکورزی (12860 مگاژول در هکتار) و مدیریت آبی همراه با خاکورزی (29589 مگاژول در هکتار) اختصاص یافت. این میزان در مدیریت آبی بدون خاکورزی حدود 23847 و در مدیریت کشت دیم همراه با خاکورزی برابر با 19259 مگاژول در هکتار بود. از لحاظ آماری میانگین‌های این شاخص در کلاس‌های متفاوتی قرار گرفتند. بیشترین مقدار انرژی مصرفی در مزارع کشت دیم بدون خاکورزی، به ترتیب به کود نیتروژن (54/1 درصد)، بذر (18/8 درصد) و سوخت (8/6 درصد) اختصاص یافت و کمترین آن مربوط به نیروی انسانی، آفت‌کش و کود پتاسیم به ترتیب به میزان 0/2، 0/4 و 0/4 درصد بود (جدول 2). همچنین بیشترین مقدار انرژی مصرفی در مدیریت آبی با خاکورزی را کود نیتروژن، آب آبیاری و بذر به ترتیب با 31/9، 28/1 و 17/4 درصد و کمترین آن را نهاده‌های حشره‌کش، علف‌کش و کود فسفر به ترتیب با 0/1، 0/5 و 0/5 درصد به خود اختصاص دادند (جدول 2). نتایج نشان داد که بیشترین انرژی مصرفی در تمامی مدیریت‌ها مربوط به مصرف کود نیتروژن است که این عمل علاوه بر کاهش کارایی انرژی مصرفی، می‌تواند باعث آلودگی منابع آبی و خاکی شود. به نظر می‌رسد با استفاده از انجام آزمون خصوصیات خاک و تعیین مقادیر مناسب کودهای مورد نیاز بر اساس آزمون خاک و نیاز گیاه و با مصرف بهینه کودهای شیمیایی، علاوه بر حفظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و کاهش آلودگی‌های محیط می‌توان کارایی انرژی را با شرایط موجود افزایش داد. قربانی و همکاران (Ghorbani et al., 2011) در پژوهشی در مزارع استان خراسان شمالی، میزان انرژی ورودی به مزارع گندم آبی را 45376 مگاژول در هکتار محاسبه کردند که 4/8 برابر انرژی ورودی مزارع دیم آن منطقه بود. در پژوهش‌های دیگری نیز محققان

به این نتیجه رسیده‌اند که بیشترین انرژی مصرفی در تولید غلات مربوط به کود نیتروژن و ماشین‌آلات می‌باشد (Kazemi et al., 2015; Ghorbani et al., 2011; Alipour et al., 2013; Heydari Gholinejad & Hasanzadeh, 2003; Abdollahpour & Zarei, 2010).

کاهش مصرف کودهای نیتروژنی از طریق مدیریت مصرف بهینه کود، قرار دادن بقولات در تناوب زراعی، استفاده از کود سبز، استفاده از کود دامی و آلی امکان‌پذیر است. همچنین جهت کاهش انرژی ورودی ماشین‌آلات، استفاده از روش‌های خاکورزی حفاظتی مانند شخم کاهش‌یافته، شخم در بقایا و بدون خاکورزی پیشنهاد می‌گردد. استفاده از ماشین‌های چندکاره نیز می‌تواند به کاهش مصرف نهاده‌های ورودی به مزرعه کمک نماید.

حیدری قلی‌نژاد و حسن‌زاده (Heydari Gholinejad & Hasanzadeh, 2008) نشان دادند که میزان انرژی ورودی در واحد سطح در زراعت آبی گندم (1302/54 کیلوکالری در مترمربع) بیشتر از زراعت دیم (541/41 کیلوکالری در مترمربع) بود که این تفاوت به خاطر میزان انرژی ورودی بیشتر مربوط به کود نیتروژن، آب آبیاری و بذر در زراعت آبی نسبت به زراعت دیم می‌باشد. در مطالعه عبداله‌پور و زارعی (Abdollahpour & Zarei, 2013) کل انرژی ورودی و خروجی به گندم آبی شهرستان ری به ترتیب 47377/6 و 124990 مگاژول در هکتار بود. همچنین صفا و طباطبایی (Safa & Tabatabaei, 2002) گزارش کردند که بیشترین انرژی نهاده مصرفی در گندم آبی مربوط به آبیاری (20/9 گیگاژول در هکتار) و در گندم دیم مربوط به کود شیمیایی (5/7 گیگاژول در هکتار) بوده است.

خروجی انرژی در مزارع گندم در درجه اول دانه و سپس کاه و کلش می‌باشد. مقایسه متوسط عملکرد دانه در این چهار مدیریت نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد مربوط به مدیریت کشت آبی بدون خاکورزی (3858/02 کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن مربوط به کشت دیم با خاکورزی (1320/81 کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. در کشت آبی با خاکورزی، متوسط عملکرد 3257/21 کیلوگرم در هکتار و در کشت دیم بدون خاکورزی این مقدار 1388/91 کیلوگرم در هکتار به دست آمد. این عدد در رابطه با انرژی خروجی در مزارع گندم مورد مطالعه، بیشترین انرژی خروجی مربوط به مدیریت کشت آبی بدون خاکورزی معادل 70743 مگاژول در هکتار بود که از این مقدار 56713 مگاژول در هکتار مربوط به دانه و 14029 مگاژول در هکتار مربوط به کاه و کلش بود (جدول 2). همچنین کمترین انرژی خروجی به مدیریت کشت دیم بدون خاکورزی معادل 26550 مگاژول در هکتار تعلق داشت که از این مقدار 20417 مگاژول در هکتار مربوط به دانه و 6133 مگاژول در هکتار مربوط به کاه بود. بر اساس گزارش قربانی و همکاران (Ghorbani et al., 2011) کل انرژی خروجی مزارع گندم آبی استان خراسان شمالی 31672 مگاژول در هکتار بود، اما کارایی مصرف انرژی در مزارع دیم (3/38) از مزارع آبی (1/44) بیشتر بود. زیرا این محققان میزان انرژی ورودی به مزارع کم‌نهاده را 9354/2 و مزارع پرنهاده را 45367/6 مگاژول در هکتار گزارش کردند.

نتایج این تحقیق نشان داد در هر دو شرایط دیم و آبی بیشترین عملکرد مربوط به مدیریت کم‌خاکورزی بود. توجه به مدیریت نوین خاک از جمله اجرای روش‌های کم‌خاک‌ورزی، با هدف حفاظت از منابع خاک و آب ضروری است. عملیات خاک‌ورزی، با تغییر در روش آماده‌سازی و شرایط خاک، مستقیماً بر رطوبت خاک و عملکرد اثر می‌گذارد (Shamabadi, 2012). علت افزایش عملکرد در شرایط کم‌خاکورزی بر اساس نتایج مریل و همکاران (Merrill et al., 1996) می‌تواند به دلیل بیشتر بودن رطوبت موجود در خاک در این نوع مدیریت باشد. شم آبادی (Shamabadi, 2012) گزارش کرد که استفاده از نظام‌های کم‌خاکورزی و حفظ بقایا در سطح خاک بر عملکرد گندم اثر مثبت داشته و بهره‌وری انرژی در نظام کم‌خاکورزی بیشتر از روش‌های رایج بود.

شاخص‌های انرژی شامل کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی و انرژی ویژه در مدیریت‌های مختلف نظام‌های تولید گندم در شهرستان شهرکرد در جدول 3 نشان داده شده است. بیشترین کارایی انرژی مربوط به مدیریت کشت آبی بدون خاکورزی به میزان 3/03 (دانه 2/43 و کاه 0/60) بود که بیانگر این نکته است که در ازای هر واحد انرژی مصرفی 3/03 واحد انرژی تولید می‌شود. کمترین کارایی انرژی مربوط به مدیریت دیم با خاکورزی به میزان 1/32 (دانه 1/03 و کاه 0/29) بود. هر چه مقدار کارایی انرژی در مزارع بیشتر شود، تولید در آن مزارع در راستای پایداری در کشاورزی بوده و هر چه این نسبت کوچک‌تر شود، تخریب محیط زیست و ناپایداری بوم‌شناختی در آینده نزدیک اتفاق خواهد افتاد. شاخص کارایی مصرف انرژی در مناطق مختلف و بر اساس روش‌های مختلف مدیریتی متغیر است.

جدول 1- معادل‌های انرژی ورودی و خروجی مورد استفاده در تولید گندم در شهرستان شهرکرد

Table 1- Equivalent of input and output energies for wheat production in Shahrekourd township

ورودی‌ها/خروجی‌ها Inputs/outputs	معادل انرژی (مگاژول بر هکتار) Energy equivalent ($MJ.ha^{-1}$)	منبع Reference
ورودی‌ها Inputs		
بذر گندم (کیلوگرم) Wheat seed (kg)	15.7	(Tipi et al., 2009)
نیروی انسانی (ساعت) Labor (hr)	1.96	(Azkan et al., 2004)
ادوات و ماشین آلات* (کیلوگرم) Machinery (kg)	142.7	(Zahedi et al., 2014)
آب آبیاری (مترمکعب) Irrigation (m^3)	1.02	(Zahedi et al., 2014)
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers		
نیتروژن (کیلوگرم) Nitrogen (kg)	60.6	(Rajaby et al., 2012; Akcaoz et al., 2009)
فسفر (کیلوگرم) Phosphate (kg)	11.1	(Rajaby et al., 2012; Akcaoz et al., 2009)
پتاسیم (کیلوگرم) Potash (kg)	6.7	(Rajaby et al., 2012; Akcaoz et al., 2009)
نوع سوخت Fuel type		
گازوئیل (لیتر) Diesel (L)	38	(Rajaby et al., 2012)
بنزین (لیتر) Gasoline (L)	37	(Rajaby et al., 2012)
الکتریسیته (کیلووات بر ساعت) Electricity (kWh)	12.1	(Kaltsas et al., 2007)
مواد شیمیایی Chemicals		
علف‌کش‌ها (کیلوگرم ماده مؤثره) Herbicides (active ingredient (kg))	287	(Tzilivakis et al., 2005)
قارچ‌کش‌ها (کیلوگرم ماده مؤثره) Fungicides (active ingredient (kg))	99	(Tzilivakis et al., 2005)
حشره‌کش‌ها (کیلوگرم ماده مؤثره) Insecticides (active ingredient (kg))	237	(Tzilivakis et al., 2005)
خروجی Output		
دانه گندم (کیلوگرم) Wheat grain (kg)	14.7	(Tipi et al., 2009; Singh et al., 2007)
کاه و کلش گندم (کیلوگرم) Straw (kg)	9.25	(Tabatabaei-Far et al., 2009)

* شامل ساخت، تعمیرات، نگهداری و حمل و نقل

* Including the construction, repair, maintenance and transportation

جدول ۲- میزان انرژی نهاده‌های ورودی و خروجی در مزارع گندم شهرستان شهرکرد در شرایط کشت آبی و دیم با دو نوع‌نظام بدون خاکورزی و همراه با خاکورزی

Table 2- Inputs and output energies in wheat fields of Shahrekourd township under irrigated and rainfed farming condition in tillage and no-tillage systems

ورودی‌ها/خروجی‌ها (مگاژول در هکتار) Inputs/outputs ($MJ.ha^{-1}$)	میانگین Mean				درصد از کل Percent from total			
	دیم Rainfed		آبی Irrigated		دیم Rainfed		آبی Irrigated	
	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage
نیروی انسانی Labor	30^{c}	104^{b}	79b^{c}	163^{a}	0.2	0.5	0.3	0.6
ماشین آلات Machinery	464^{c}	1465^{a}	365^{c}	976^{b}	3.6	7.6	1.5	3.3
سوخت Fuel	1108^{b}	2304^{a}	929^{b}	2558^{a}	8.6	12.0	3.9	8.7
گازوییل Diesel	580^{b}	1256^{a}	570^{b}	1449^{a}	4.5	6.5	2.4	4.9
بنزین Gasoline	252^{ab}	474^{a}	130^{b}	474^{a}	2.0	2.5	0.6	1.6
نیتروژن Nitrogen	7220^{b}	8529^{ab}	1092^{a}	9429^{ab}	54.1	44.2	46.1	31.9
فسفر Phosphate	584^{a}	475^{ab}	461a^{b}	143^{b}	4.5	2.5	1.9	0.5
پتاسیم Potash	52^{c}	95^{bc}	611a	341a^{b}	0.4	0.5	2.6	1.2
علف کش Herbicide	115^{a}	127^{a}	134^{a}	136^{a}	0.9	0.7	0.6	0.5
آفت کش Pesticide	45^{a}	71^{a}	0^{a}	19^{a}	0.4	0.4	0	0.1
الکتریسیته Electricity	0^{b}	0^{b}	841^{a}	425^{a}	0	0	3.5	1.4
بذر Seed	2412^{c}	4367^{ab}	3618^{b}	5152^{a}	18.8	22.7	15.2	17.4
آب آبیاری Irrigation	0^{c}	0^{c}	5117^{b}	8323^{a}	0	0	21.5	28.1
کل انرژی ورودی Total Input Energy	12860^{d}	19259^{c}	23847^{b}	29589^{a}	100	100	100	100
عملکرد دانه Grain yield	20417^{b}	19416^{b}	56713a	47881^{a}	76.9	78.1	80.2	80.7
عملکرد کاه Straw yield	6133^{b}	5449^{b}	14029a	11439^{a}	23.1	21.9	19.8	19.3
کل انرژی خروجی Total output energy	26550^{b}	24865^{b}	70743^{a}	59320^{a}	100	100	100	100

در هر ردیف و هر پارامتر حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

In each column and for each parameter, different superscript letters show significant difference of means at 5% level.

به طوری‌که این شاخص جهت تولید گندم آبی و دیم در استان آذربایجان غربی به ترتیب 1/48 (دانه 0/79 و کاه 0/68) و 1/26 (دانه 0/68 و کاه 0/58) (Heydari Gholinejad & Hasanzadeh, 2008)، گندم دیم در استان کرمانشاه 1/521 (دانه 0/818 و کاه 0/703) (Abdollahpour & Zarei, 2010)، گندم آبی در کرمانشاه 3/78 (usefi & Damghani, 2013)، گندم آبی در شهرستان ری 2/63 (Alipour et al., 2013)، گندم دیم و آبی در مزارع شهرستان ساوه به ترتیب 0/99 و 1/17 (Safa & Tabatabaee-Far, 2002)، گندم آبی در شهرستان اقلید 2/29 (Molaei & Afzali Neay, 2012)، در کشور ترکیه 2/8 (Canakci et al., 2005)، و در مناطق مختلف هند از 2/9 تا 5/2 (Singh, 2002) گزارش شده است. روش‌های متعددی برای افزایش این شاخص وجود دارد به عنوان مثال حسن‌زاده و همکاران (Hasanzadeh et al., 2001) پیشنهاد دادند که با کاربرد مخلوط کودهای شیمیایی و آلی می‌توان مصرف انرژی را در واحد سطح کاهش داد و در نتیجه کارایی انرژی را بالا برد. در این تحقیق مشخص شد که بیشترین بهره‌وری انرژی مربوط به مدیریت کشت آبی بدون خاکورزی به میزان 0/23 کیلوگرم بر مگاژول (بر اساس دانه 0/17 کیلوگرم بر مگاژول و بر اساس کاه 0/07کیلوگرم بر مگاژول) بود که بیانگر این مطلب است که در ازای هر واحد انرژی مصرفی 0/23 واحد انرژی حاصل شد. کمترین بهره‌وری انرژی مربوط به مدیریت کشت دیم با خاکورزی به میزان 0/10کیلوگرم بر مگاژول (بر اساس دانه 0/07 کیلوگرم بر مگاژول و کاه بر اساس 0/03کیلوگرم بر مگاژول) بود (جدول 3). این شاخص برای گندم آبی در شهرستان ری 0/11 کیلوگرم بر مگاژول (Alipour et al., 2013)، گندم آبی خراسان شمالی 0/06 کیلوگرم بر مگاژول (Ghorbani et al., 2011)، گندم آبی گرگان 0/3 کیلوگرم بر مگاژول (Tajic Jalali et al., 2013) گندم در اقلید 0/18 کیلوگرم بر مگاژول (Molaei & Afzali Neay, 2012) گزارش شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که میزان بهره‌وری انرژی که در حقیقت نشان‌دهنده مقدار محصول تولید شده به ازای هر واحد انرژی ورودی است، در مزارع گندم ایران بسیار پایین می‌باشد، هر چند از این نظر وضعیت مزارع شهرکرد به مراتب بهتر از مناطقی مانند خراسان شمالی و شهر ری است. اصولاً هر اندازه اتکای بوم‌نظام به انرژی ورودی بیشتر باشد، مقدار این شاخص کاهش می‌یابد و فقط در صورت افزایش عملکرد در واحد سطح این شاخص افزایش خواهد یافت (Alipour et al., 2013). بنابراین، دلیل پایین بودن این شاخص در مزارع دیم با خاکورزی نسبت به مزارع دیم بدون خاکورزی، کاهش حجم ورودی نهاده‌ها می‌باشد. در نتیجه این امر می‌تواند به بهبود این شاخص کمک کند. از سویی دیگر، چون مزارع دیم نسبت به مزارع آبی نهاده‌های کمتری دریافت می‌کنند و به همان نسبت عملکرد پایین‌تری دارند، بنابراین داشتن شاخص بهره‌وری بالاتر در این مزارع نسبت به مزارع آبی دور انتظار است مگر این‌که با مدیریت به‌زراعی افزایش عملکرد در دیم‌زارها اتفاق افتد و یا این‌که حجم نهاده‌های ورودی آن‌ها کاهش یابد. از نظر شاخص انرژی ویژه، کمترین مقدار مربوط به مدیریت کشت آبی بدون خاکورزی به میزان 6/30 مگاژول در کیلوگرم و بیشترین مقدار مربوط به مدیریت کشت دیم با خاکورزی به میزان 15/67 مگاژول در کیلوگرم بود. بیشترین و کمترین انرژی خالص نیز به ترتیب مربوط به مدیریت کشت آبی بدون خاکورزی (46896 مگاژول در هکتار) و مدیریت کشت دیم با خاکورزی (5607 مگاژول در هکتار) بود. این مقدار برای کشت آبی با خاکورزی حدود 29730 مگاژول در هکتار و برای کشت دیم بدون خاکورزی 13690 مگاژول در هکتار به دست آمد (جدول 3). اصولاً انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم)، از تقسیم مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) بر عملکرد (کیلوگرم در هکتار) به دست می‌آید و رابطه عکس با انرژی ویژه دارد. چون در زراعت دیم هم صورت کسر و هم مخرج کسر کوچک‌تر است، بنابراین میزان این شاخص در هر دو سامانه خاکورزی کشت دیم به مراتب کمتر از مدیریت‌های کشت آبی است. در این آزمایش، مدیریت‌های کشت دیم از نظر این شاخص در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول 3). رجبی و همکاران (Rajabi et al., 2012) متوسط انرژی ویژه در تولید گندم گرگان را چهار گیگاژول بر تن و تاجیک جلالی (Tajic Jalali et al., 2013) مقدار انرژی ویژه را بر اساس روش کاشت با کمبینات، خطی‌کار و سانتریفوژ به ترتیب 3/16، 3/91 و 6/00 گیگاژول بر تن محاسبه کردند.

جدول ۳- شاخص‌های مختلف انرژی گندم در شرایط کشت آبی و دیم با دو نظام بدون خاکورزی و با خاکورزی در مزارع شهرستان شهرکرد

Table 3- Different energy indices in irrigated and rainfed farming condition under tillage and no tillage systems in fields of Sharekord township

شاخص/ مدیریت Index/ scenario	دانه Grain				کاه Straw				بیولوژیک (کل) Biologic (total)			
	دیم Rainfed		آبی Irrigated		دیم Rainfed		آبی Irrigated		دیم Rainfed		آبی Irrigated	
	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage
کارایی انرژی Energy efficiency	2.43^{a}	1.61^{bc}	2.43^{a}	1.61^{bc}	0.58^{a}	0.29^{b}	0.60^{a}	0.39^{ab}	1.90^{ab}	1.03^{c}	2.43^{a}	1.61^{bc}
بهره‌وری انرژی (مگاژول بر کیلوگرم) Energy productivity ($MJ.kg^{-1}$)	0.17a	0.11^{b}	0.17a	0.11^{b}	0.06^{a}	0.03^{b}	0.07^{a}	0.04^{ab}	0.13^{b}	0.07^{c}	0.17^{a}	0.11^{b}
انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم) Specific energy ($MJ.kg^{-1}$)	6.30^{b}	9.55^{b}	6.30^{b}	9.55^{b}	22.75^{ab}	34.69^{a}	17.20^{b}	29.76^{a}	9.80^{b}	15.67^{a}	6.30^{b}	9.55^{b}
انرژی خالص (مگاژول در هکتار) Net energy ($MJ.ha^{-1}$)	-	-	-	-	-	-	-	-	13690^{c}	5607^{c}	46896^{a}	29730^{b}

در هر ردیف و هر پارامتر مورد بررسی، حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD بین میانگین‌ها است.

In each column and for each parameter, different superscript letters show significant difference of means at 5% level.

جدول 4- نتایج ارزیابی مجموع انرژی مصرفی به صورت مستقیم، غیرمستقیم، قابل تجدید و غیر قابل تجدید در شرایط آبی و دیم با سیستم بدون خاکورزی و با خاکورزی در مزارع گندم شهرستان شهرکرد

Table 4- Evaluation results of total energy as direct, indirect, renewable and non-renewable forms in irrigated and rainfed farming under tillage and no tillage systems in fields of Shahrekourd township

انرژی (مگاژول در هکتار) Energy ($MJ.ha^{-1}$)	میانگین Average				درصد از کل Percent from total			
	دیم Rainfed		آبی Irrigated		دیم Rainfed		آبی Irrigated	
	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage	بدون خاکورزی No-tillage	خاکورزی Tillage
انرژی مستقیم Direct energy	1138^{d}	2408^{c}	1138^{d}	2408^{c}	9	14	26	40
انرژی غیرمستقیم Indirect energy	10891^{b}	15121^{a}	10891^{b}	15121^{a}	91	86	74	60
انرژی غیر تجدیدپذیر Non-renewable energy	9587^{b}	13057^{a}	9587^{b}	13057^{a}	80	74	62	51
انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	2442^{d}	4471^{c}	2442^{d}	4471^{c}	20	26	38	49

در هر ردیف و هر پارامتر، حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD بین میانگین‌ها است.

In each column and for each parameter, different superscript letters show significant difference of means at 5% level.

توزیع انرژی به صورت مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر قابل تقسیم‌بندی است. مقادیر این شاخص‌ها در جدول 4 نشان داده شده است. در تمامی مدیریت‌ها نسبت انرژی غیرمستقیم بیشتر از انرژی مستقیم بود به طوری‌که بیشترین و کمترین انرژی غیرمستقیم به ترتیب در مدیریت کشت دیم بدون خاکورزی (91 درصد) و مدیریت کشت آبی با خاکورزی (60 درصد) به دست آمد. بین میانگین‌های این شاخص بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (جدول 4). این میزان برای مدیریت کشت دیم با خاکورزی 86 درصد و برای مدیریت کشت آبی بدون خاکورزی، 74 درصد محاسبه شد. با توجه به حجم ورودی‌های مستقیم مدیریت آبی با خاکورزی (40 درصد)، در مجموع سهم نهاده‌های غیرمستقیم به این نوع مزارع کمتر بوده و بیشتر از نهاده‌های مستقیم مانند سوخت، آب آبیاری و نیروی انسانی استفاده شده است. علی‌پور و همکاران (Alipour et al., 2013) بیان داشتند که از کل انرژی ورودی به گندم آبی شهرستان ری، 62/1 درصد انرژی غیرمستقیم و 72/2 درصد مربوط به منابع تجدیدناپذیر انرژی بودند. همچنین قربانی و همکاران (Ghorbani et al., 2011) سهم انرژی غیرمستقیم در تولید گندم آبی52/4 درصد و سهم انرژی مستقیم را 47/6 درصد از انرژی کل ورودی محاسبه کردند. در این تحقیق، در بین نهاده‌های ورودی که انرژی مربوط به آن‌ها غیرمستقیم محسوب می‌شود، کود نیتروژن بیشترین سهم را به خود اختصاص داد. این سهم در مدیریت کشت دیم بدون خاکورزی با بالاترین میزان یعنی به 54/1 درصد رسید (جدول 2). این یافته‌ها با نتایج علیپور و همکاران (Alipour et al., 2013) و میرینی و همکاران (Mirini et al., 2001) مبنی بر این‌که بیشترین میزان انرژی غیرمستقیم ورودی به انواع بوم‌نظام‌های زراعی، متعلق به کود نیتروژن است، مطابقت داشت.

نتایج نشان داد در تمامی مدیریت‌ها نسبت انرژی غیرتجدیدپذیر بیشتر از انرژی قابل تجدید بوده به طوری‌که بیشترین و کمترین انرژی غیرتجدیدپذیر به ترتیب در مدیریت کشت دیم بدون خاکورزی (80 درصد) و مدیریت کشت آبی با خاکورزی (51 درصد) محاسبه شد. میانگین‌های این شاخص در کلاس‌های متفاوت آماری گروه‌بندی شدند (جدول 4). از نظر فرم انرژی قابل تجدید، سهم آن در مزارع کشت آبی در هر دو روش خاکورزی بیشتر از کشت دیم بود، ولی از نظر انرژی غیر قابل تجدید نتیجه عکس به دست آمد.

بیشترین انرژی تجدیدپذیر در مدیریت کشت آبی با خاکورزی (49 درصد) وکمترین در مدیریت کشت دیم بدون خاکورزی (20 درصد) مشاهده شد (جدول 4). این امر بیانگر وابستگی مزارع گندم در این منطقه به منابع تجدیدناپذیر انرژی است. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به جای منابع تجدیدناپذیر یک نکته کلیدی در پایداری نظام‌های تولید می‌باشد (Kazemi et al., 2015). بالابودن سهم انرژی تجدیدپذیر در کشت آبی را می‌توان به سهم پر رنگ نهاده آب آبیاری مرتبط دانست که در این تقسیم‌بندی جز انرژی‌های قابل تجدید قرار گرفت. کود نیتروژن از مهم‌ترین نهاده‌های انرژی خواه در تولید محصولات زراعی است و در تولید آن از مقادیر بسیار زیادی انرژی به ویژه سوخت فسیلی استفاده می‌شود (14700 کیلوکالری در ازای تولید هر کیلوگرم نیتروژن). بنابراین، یکی از مهم‌ترین گام‌ها در جهت کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر انرژی در تولید محصولات زراعی، کاهش مصرف کود شیمیایی از جمله نیتروژن از طریق روش-های همچون مدیریت مصرف بهینه کود، مدیریت آبیاری، قرار دادن بقولات در تناوب زراعی، استفاده از کود سبز، استفاده از کود دامی و آلی و غیره می‌باشد (Alipour et al., 2013). همچنین با اعمال مدیریت صحیح انرژی می‌توان کارایی تثبیت انرژی را بالا برد. این موضوع می‌تواند از طریق بهبود شرایط محیطی، عملیات صحیح زراعی و تأمین بهینه نهاده‌ها صورت پذیرد. برای کاهش مصرف انرژی‌های غیر قابل تجدیدپذیر، تلفیق استفاده از تجهیزات کارآمدتر و به کارگیری فناوری‌های مدرن با کارایی بالاتر و استفاده از منابع انرژی جایگزین و یا تجدید شونده به منظور کاهش وابستگی به انرژی سوخت‌های فسیلی نیز پیشنهاد می‌گردد. توصیه می‌شود با بهبود روش‌های تهیه زمین از جمله استفاده از روش‌های کم خاکورزی، اصلاح روش‌های آبیاری، استفاده از پمپ‌های برقی با کارایی بالا، نگهداری و کاربرد صحیح ماشین‌آلات و افزایش بهره‌وری انتقال آب در مزارع، کارایی مصرف انرژی را در منطقه مورد مطالعه افزایش داد. در هر حال کاهش مصرف انرژی به خصوص در عملیات‌های انرژی‌بر، حتی در صورت ثابت بودن تولید محصول، باعث افزایش نسبت انرژی می‌شود. به عنوان مثال تغیر در روش‌های فعلی آبیاری که اغلب به صورت غرقابی و کم بازده است، باعث کاهش مصرف سوخت، مصرف آب و نیروی کارگری می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که از لحاظ مجموع انرژی مصرفی جهت تولید گندم، کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب به مدیریت کشت دیم بدون خاکورزی (12860 مگاژول در هکتار) و مدیریت آبی همراه با خاکورزی (29589 مگاژول در هکتار) اختصاص یافت. نتایج نشان داد که بیشترین انرژی مصرفی در تمامی مدیریت‌ها مربوط به مصرف کود نیتروژن است که این نهاده علاوه بر کاهش کارایی انرژی مصرفی می‌تواند باعث آلودگی منابع آبی و خاکی نیز شود. به نظر می‌رسد با استفاده از انجام آزمون خاک و با مصرف بهینه کود علاوه بر حفظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و کاهش آلودگی‌های محیطی، می‌توان کارایی انرژی را با شرایط موجود افزایش داد.

در تمامی مدیریت‌ها نسبت انرژی غیرمستقیم بیشتر از انرژی مستقیم بود، به طوری‌که بیشترین و کمترین انرژی غیرمستقیم به ترتیب در مدیریت کشت دیم بدون خاکورزی (91 درصد) و مدیریت کشت آبی با خاکورزی (60 درصد) به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که در بین نهاده‌های ورودی که انرژی مربوط به آن‌ها غیرمستقیم محسوب می‌شود، کود نیتروژن بیشترین سهم را به خود اختصاص می‌دهد. این سهم در مدیریت کشت دیم بدون خاکورزی با بالاترین میزان یعنی به 54/1 درصد رسید. در تمامی مدیریت‌ها نسبت انرژی غیرتجدیدپذیر بیشتر از انرژی قابل تجدید بوده به طوری‌که بیشترین و کمترین انرژی غیرتجدیدپذیر به ترتیب در مدیریت کشت دیم بدون خاکورزی (80 درصد) و مدیریت کشت آبی با خاکورزی (51 درصد) بود.

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین سامانه کشت مربوط به کشت آبی بدون خاکورزی است. کارایی مصرف انرژی (2/43) در این مدیریت بالاتر از سه مدیریت دیگر محاسبه شد. به نظر می‌رسد عملیات خاکورزی سهم قابل توجهی را در مقدار انرژی ورودی در یک سامانه تولید محصولات زراعی دارا است. کاهش عملیات تهیه بستر سبب باقی ماندن بقایای گیاهی در سطح خاک می‌گردد که تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر ساختمان و خصوصیات فیزیکی خاک دارد. همچنین کاهش عملیات خاکورزی به نحوی که اهداف خاکورزی را تأمین نماید، ضمن ایجاد شرایط کشاورزی پایدار از طریق جلوگیری از فرسایش خاک به دلیل کاهش تردد ماشین‌آلات و فشردگی خاک، حفظ محیط زیست با صرفه‌جویی در زمان و انرژی،

حفظ خواص فیزیکی و افزایش مواد آلی خاک کمک مؤثری به افزایش درآمد کشاورزان خواهد نمود.

در این آزمایش انتخاب روش بدون خاکورزی به عنوان مدیریت برتر، می‌تواند گویای این نکته باشد که توسعه روش‌های کم خاکورزی در منطقه مورد مطالعه می‌تواند به افزایش کارایی مصرف انرژی در مزارع گندم شهرکرد منجر شود. با توجه به بهره‌وری پایین مصرف انرژی می‌توان کشاورزان را به سمت استفاده از روش‌های حفاظتی با خاکورزی کمتر سوق داد. در این آزمایش از بین دو روش کشت آبی و دیم، روش آبی از نظر برخی از شاخص‌ها برتر بود. بنابراین در مدیریت‌های مزارع آبی می‌توان با اجرای مدیریت زراعی درست از جمله تعیین بهترین تاریخ کاشت به منظور هم‌زمانی بیشتر نیاز آبی گیاه زراعی با بارندگی‌های منطقه به منظور کاهش تعداد دفعات آبیاری، رعایت تناوب زراعی به منظور تأمین حاصلخیزی خاک و کنترل شیوع آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز به منظور کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، استفاده از ماشین‌آلات چندکاره به منظور صرفه‌جویی در سوخت و استهلاک کمتر ماشین‌آلات، استفاده از کودهای آلی و همچنین استفاده از سامانه‌های آبیاری کارآمد، در کاهش وابستگی این سامانه‌های تولید به انرژی‌های تجدیدناپذیر مؤثر واقع شد و از اثرات سوء مصرف بیش از حد منابع انرژی از جمله سوخت‌های فسیلی و سایر نهاده‌های شیمیایی بر محیط زیست جلوگیری به عمل آورد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از کشاورزان و کارشناسان بخش‌های تولیدات گیاهی و مکانیزاسیون سازمان جهاد کشاورزی استان چهار محال و بختیاری جهت همکاری در این مطالعه و نیز دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Abdollahpour, S., and Zarei, S. 2010. Evaluation of energy balance in rainfed wheat fields of Kermanshah province. Journal of Sustainable Agriculture Knowledge 2: 97-106. (In Persian with English Summary)

Agriculture Yearbook. 2015. Agriculture Yearbook of Field Crops. Vol.1. Jihad Agriculture Ministry, Information Office 156 pp.

Alipour, A., Keshavarz Afshar, R., Ghaleh Golab Behbahani, A., Karimi Nejad, A., and Mohammadi, V. 2013. Investigation of energy flow in irrigated wheat ecosystems: A case study: Rey township. Journal of Sustainable Agriculture Knowledge 23: 69-106. (In Persian with English Summary)

Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., and Kizilay, H. 2009. Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. Journal Food, Agriculture and Environment 7: 475-480.

Bonari, E., Mazzoncini, M., and Peruzzi, A. 1995. Effect of conservation and minimum tillage on winter oilseed rape in a sand soil. Soil and Tillage Research 33: 91-108.

Broumand, A., Aghkhani, M., and Sadrnia, H. 2015. A Comparison of utilization systems in terms of energy consumption of soybean production in Moghan region. Journal of Agroecology 6: 905-915. (In Persian with English summary)

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

Dahiphale, V.V., and PawarK, R. 1992. Studies on energy requirement of Rabi sunflower crop production. Journal of Maharashtra Agriculture University 17: 443-445.

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., Sanjani S, Anvarkhah, S., and Aghel, H. 2011. A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. Applied Energy 88: 283-288.

Hasanzadeh Ghoorttappeh, A., Ghalavand, A., Ahmadi, M., and Mirnia, S. 2001. Investigation of different nutrition systems on energy efficiency of sunflower cultivars. Journal of Agriculture and Natural Resources 8: 67-78. (In Persian with English Summary)

Heydari Gholinejhad, A., and Hasanzadeh Ghoorttappeh, A. 2003. Study of inputs efficiency in irrigated and dryland wheat cropping of West Azarbayjan province. Research in Crop Sciences 1: 1-12. (In Persian with English

Summary)

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.

Kazemi, H., Kamkar, B., Lakzaei, S., Badsar, M., and Shahbyki, M. 2015. Energy flow analysis for rice production in different geographical regions of Iran. Energy 84: 390-396.

Merrill, S.D., Black, A.L., and Bauer, A. 1996. Conservation tillage affects root growth of dryland spring wheat under drought. Soil Science Society of America 60: 575-583.

Molaei, K., and Afzali Niya, S. 2012. Determination of energy indices in wheat and colza production in cropping and industrial plain of Namdan Eghlid. Ecophysiology Journal 4: 26-36. (In Persian with English Summary)

Mrini, M., Senhaji, F., and Pimentel, D. 2001. Energy analysis of sugarcane production in Morocco. Environment, Development and Sustainability 3: 109-126.

Ozkan, B., Akcaoz, H., and Fert, C. 2004. Energy input–output analysis in Turkish agriculture. Renewable Energy 29: 39-51.

Rajaby, M.H., Soltani, A., Zeinali, E., and Soltani, E. 2012. Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. Journal of Plant Production Research 19(3): 143-171. (In Persian with English Summary)

Safa, M., and Tabatabaee-Far, A. 2002. Energy consumption in wheat production in irrigated and dryland farming. In Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference 28-30 Nov., Wuxi, China. p. 183.

Safa, M., and Tabatabaee-Far, A. 2008. Fuel consumption in wheat production in irrigated and dryland farming. World Journal of Agricultural Sciences 1: 86-90.

Shamabadi, Z. 2013. Investigation of minimum tillage methods on energy use efficiency and yield of dryland wheat. Journal of Soil and Water Resources Conservation 3: 69-77. (In Persian with English Summary)

Singh, J.M. 2002. On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. Master of Science. International Institute of Management University of Flensburg, Germany.

Singh, H., Singh, A.K., Kushwaha, H.L., and Singh, A. 2007. Energy consumption pattern of wheat production in India. Energy 32: 1848-1854.

Tajic Jalali, A., Nehbandani, A., Soltani, A., Zeinali, E., and Ajam Noroozi, H. 1393. Energy use in wheat production in Kordkoy region as influenced by seed-bed preparation and sowing methods. Plant Production Research Journal 20: 71-90. (In Persian with English Summary)

Tipi, T., Cetin, B., and Vardar, A. 2009. An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. Journal of Food, Agriculture and Environment 7: 352-356.

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* L.) production in the UK. Agriculture System 85: 101-119.

Usefi, M., and Mahdavi Damghani, A. 2013. Investigation of water use efficiency and energy in irrigated systems in Kermanshah province. Journal of Agroecology 5:113-121. (In Persian with English Summary)

Usefi, M., and Mahdavi Damghani, A. 2013. Investigation of water use efficiency and energy in irrigated systems in Kermanshah province. Journal of Agroecology 5: 113-121 (In Persian with English Summary)

Zahedi, M., and Eshghizadeh, H.R. 2014. Energy use efficiency and economical analysis in cotton production system in an arid region: A case study for Isfahan province, Iran. International Journal of Energy Economics and Policy 4(1): 43-52.

Journal of Agroecology
Vol. 8, No. 2, Summer 2016, p. 281-295

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 8، شماره 2، تابستان 1395، ص. 295-281

Assessing Energy Flow in Rainfed and Irrigated Wheat Fields of Shahrekourd Township under two Tillage Systems

H. Kazemi[1*], P. Alizadeh[2] and A. Nehbandani[2]
Submitted: 08-07-2015
Accepted: 08-11-2015

Kazemi, H., Alizadeh, P., and Nehbandani, A. 2016. Assessing Energy Flow in Rainfed and Irrigated Wheat Fields of Shahrekourd Township under two Tillage Systems. Journal of Agroecology 8(2): 281-295.

Introduction

Energy analysis of agricultural ecosystem is essential for sustainable production. The relation between agriculture and energy is very close. Agriculture is an energy consumer and the energy supplier. Agriculture's use of energy is recognized in three external inputs: labor, machines, and fertilizers (Connor et al., 2011). Significant gains in energy efficiency were arisen in agriculture following the phenomenal increase in energy prices in the 1970s. Greater use of diesel motors, larger tractors, using conservation tillage methods and optimized fertilizer use efficiency were the main causes (Ozkan et al., 2004). Safa & Samarasinghe (2013) were reported that fuel consumption in tillage and harvesting was more than other operations in wheat fields of Canterbury, New Zealand. Effective application of agricultural techniques and efficient use of support inputs can minimize environmental problems and in consequence promote sustainable agricultural intensification. In this study, the energy flow investigated in irrigated and rain-fed wheat cropping systems under two tillage and no-tillage methods in the Shahrekourd city, during 2013.

Materials and methods

The study was carried out in the Sharekourd city (Chaharmahal Bakhteyari province). This region is located within 32º 20' and 32º 21' Lat. N, 50º 48' and 50º 50' Lon. E. Data were collected from 40 farmers with questionnaire method. In this study, a randomized complete design with four scenarios (rain-fed and irrigated farming with tillage and no-tillage systems) was used, that 10 farms were considered as a replication in each scenario. All data detail information on the questionnaire were averaged and arranged. First, all inputs and outputs of wheat production were determined, quantified and entered into Microsoft Excel spreadsheets, and then transformed into energy units and expressed in $MJ.ha^{-1}$. Based on the total energy equivalents of the inputs and output and the energy use efficiency (energy ratio), net energy, energy productivity and specific energy were calculated. The input energy was divided into direct, indirect, renewable and non-renewable forms. Indirect energy included energy embodied in seed, fertilizers, chemicals, machinery; while direct energy covered human labor, water for irrigation, electricity and diesel fuel were used in the wheat production. The LSD test ($P \leq 0.05$) was used to compare means between all scenarios.

Results and discussion

The results of data analysis indicated that maximum input energy was about 29,586 $MJ.ha^{-1}$ in the irrigated fields under tillage and maximum output energy was about 70,743 $MJ.ha^{-1}$ in the irrigated fields under no-till. In this study, the highest and lowest energy efficiency were obtained in irrigated system under no-tillage (2.43 in seed) and rain-fed system under tillage (1.03 in seed), respectively. The greatest contribution from total energy belonged to energy of nitrogen fertilizer (9,429 $MJ.ha^{-1}$ in no-tillage and 1,092 $MJ.ha^{-1}$ in tillage systems) and irrigation (8,323 $MJ.ha^{-1}$ in no-tillage and 5,117 $MJ.ha^{-1}$ in tillage systems) in irrigated cropping system and nitrogen fertilizer (8,529 $MJ.ha^{-1}$ in no-tillage and 7,220 $MJ.ha^{-1}$ in tillage systems) and seed (4,367 $MJ.ha^{-1}$ in no-tillage and 2,412 $MJ.ha^{-1}$ in tillage systems) in rain-fedfarming system. Therefore, it is necessary to focus more on nitrogen fertilizer consumption than the other factors to effectively reduce energy consumption in wheat cropping. In addition, the no-tillage system had high indirect and non-renewable energy forms in both wheat

1 and 2- Assistant Professor and PhD Student of Agronomy Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: hossein_k_p@yahoo.com)

cropping systems. The high ratio of non-renewable energy in the total used energy inputs cause negative effects on the sustainability in agroecosystems.

Conclusion

Generally, irrigated cropping system under no-tillage method was the best condition for wheat production in Shahrekourdcity. The results revealed that there was a huge potential toimproveenergy efficiency of wheat production in this region. Furthermore, toreducenon-renewable energy use in the studied region, we recommended the use of chemical fertilizer specially nitrogen reduce by appropriate management of fertilizer, use of legume in crop rotation, use of green manure, organic fertilizer and manure.

Acknowledgements

We are grateful to Agriculture Service Centers of Shahrekourd and Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR).

Keywords: Energy efficiency, Direct and indirect energy, Renewable and non-renewable energy

References

Connor, D.J., Loomis Roberst, S., and Cassman Kenneth, G. 2011. Crop ecology: Productivity and management in agricultural systems. 2th Eds. Cambridge University Press.

Ozkan, B., Akcaoz, H., and Fert, C. 2004. Energy input–output analysis in Turkish agriculture. Renewable Energy 29: 39-51.

Safa, M., and Samarasinghe, S. 2013. Modelling fuel consumption in wheat production using artificial neural networks. Energy 49: 337-343.