نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۶، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۵، ص ۲۴۹-۲۳۶

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 6, No. 1, Spring - Summer 2016, p. 236-249

ارزیابی شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی با روش‌های خاک‌ورزی و کاشت مرسوم و حفاظتی در شهرستان اقلید

سید ماشاء الله حسینی[۱] - صادق افضلی نیا[۲*] - کمیل ملائی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۱۹

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی و مقایسه شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاشت اجرا گردید. تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار در شهرستان اقلید انجام شد. تیمارهای تحقیق عبارت بودند از: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی، خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی، کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات، کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت و کشت مستقیم با خطی کار اسفوجیا. اطلاعات مربوط به عملکرد محصول و انرژی‌های ورودی و خروجی در هر تیمار برداشت گردید و شاخص‌های انرژی شامل راندمان انرژی، افزوده خالص انرژی و بهره‌وری انرژی در هر تیمار محاسبه و با هم مقایسه شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق از نرم افزار آماری SAS استفاده شد و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. نتایج نشان داد که تیمار کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات بیشترین مقدار نسبت انرژی (۱/۴۶) را در بین تیمارهای تحقیق داشت و کمترین میزان نسبت انرژی (۱/۴۰) متعلق به تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم بود. بیشترین انرژی خالص (۴۷۶۵۳ مگاژول) مربوط به تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات بود و کمترین انرژی خالص (۴۱۳۸۸ مگاژول) به تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی تعلق گرفت. مقایسه تیمارها از نظر بهره‌وری انرژی نیز نشان داد که تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات بیشترین بهره‌وری انرژی (۰/۱۱۵ کیلوگرم بر مگاژول) را به خود اختصاص داده است و دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم دارای کمترین بهره‌وری انرژی (۰/۱۱۰ کیلوگرم بر مگاژول) بودند. بنابراین، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در تولید گندم آبی می‌تواند با کاهش انرژی مصرفی باعث افزایش بهره‌وری انرژی گردد.

واژه‌های کلیدی: روش‌های خاک‌ورزی، شاخص‌های انرژی، گندم

مقدمه

در بین غلات، گندم با داشتن بیشترین سطح زیر کشت در جهان سهم بالایی از مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی را به‌خود اختصاص داده است. تهیه زمین و کاشت گندم در روش مرسوم به دلیل تعدد عملیات مورد نیاز، حجم زیاد جابه‌جایی خاک و شکل ادوات مورد استفاده (به‌عنوان مثال وجود برگردان در گاوآهن برگردان‌دار)، ازجمله انرژی برترین مراحل تولید این محصول می‌باشد. بنابراین با توجه به محدودیت منابع انرژی سوختی در جهان و افزایش قیمت آن، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی و کاشت جدید برای کاهش مصرف انرژی در تولید این محصول ضروری می‌باشد. سامانه خاک‌ورزی حفاظتی، برای اولین بار حدود ۶۰ سال پیش توسط دانشمندان کانادایی برای ممانعت از فرسایش خاک توصیه گردید (Wang *et al.*, 2006). در سال‌های اخیر، استفاده از این سیستم خاک‌ورزی که عمدتاً شامل کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی می‌باشد، رشد چشمگیری یافته است. براساس آمار، کشت بدون شخم (کشت مستقیم) در ۱۲۵ میلیون هکتار از زمین‌های زراعی جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Friedrich *et al.*, 2012). امروزه روش خاک‌ورزی مورد توجه می‌باشد که علاوه بر حفظ و تقویت شرایط کیفی خاک، بتواند با مصرف کمترین انرژی، مناسب‌ترین شرایط را برای بستر بذر و رشد گیاه به‌وجود آورد (Loghavi and Hoseinpour, 2004) و خاک‌ورزی حفاظتی دارای چنین ویژگی

۱- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۲- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: sja925@mail.usask.ca
۳- مدرس دانشگاه آزاد اقلید، اقلید، ایران

می‌باشد.

براساس تحقیقات انجام شده در استان فارس، استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم منجر به صرفه‌جویی در مصرف سوخت به میزان ۷۷ درصد می‌گردد (Afzalinia *et al.*, 2009). نتایج تحقیق دیگری نیز نشان‌دهنده کاهش ۱۰ درصدی مصرف سوخت در استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی به جای خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد (Chen and Baillie, 2009). همچنین نتایج تحقیقات محققین کانادایی نشان می‌دهد که مصرف سوخت در استفاده از گاوآهن برگردان‌دار ۲۱/۶ لیتر در هکتار می‌باشد در حالی‌که اگر از کم خاک‌ورزی استفاده شود، میزان مصرف سوخت به ۶/۵ لیتر در هکتار کاهش پیدا می‌کند (McLaughlin *et al.*, 2008). نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از روش کم خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، مصرف سوخت را ۱۲/۴ تا ۲۵/۳ لیتر در هکتار و توان مصرفی را ۲۳/۶ تا ۴۲/۸ درصد کاهش می‌دهد (Rusu, 2005) و حتی کاهش مصرف سوخت به میزان ۹۸ لیتر در هکتار در خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم نیز گزارش شده است (Hobbs *et al.*, 1997).

مقایسه انرژی ورودی، انرژی خروجی و بهره‌وری انرژی در تولید ذرت ارگانیک و معمولی در یونان نشان داد که انرژی ورودی (مصرفی) ذرت ارگانیک در مقایسه با ذرت معمولی کمتر و انرژی خروجی و بهره‌وری انرژی آن بیشتر بود (Bilalis *et al.*, 2013). نسبت انرژی در تولید ذرت دانه‌ای دیم در استان گیلان ۲/۲۵ به‌دست آمد (Moraditochaee, 2012). مقایسه انرژی مصرفی در تولید ذرت علوفه‌ای در روش کم خاک‌ورزی و مرسوم در استان فارس نشان داد که برای تولید ذرت علوفه‌ای در خاک‌ورزی مرسوم انرژی بیشتری مورد نیاز است (Razzaghi *et al.*, 2012). شاخص‌های راندمان انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزوده خالص انرژی برای تولید ذرت علوفه‌ای در تهران به‌ترتیب ۲/۲۷، ۰/۲۸ کیلوگرم بر مگاژول، ۳/۷۶ مگاژول بر کیلوگرم و ۷۹۴۵۲ مگاژول بر هکتار به‌دست آمد (Pishgar Comleh *et al.*, 2011). در ایالت ویسکانسین آمریکا، انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم ذرت دانه‌ای، ۱/۷ مگاژول بر کیلوگرم محاسبه گردید و کود اوره بیشترین سهم انرژی مصرفی را به‌خود اختصاص داد (Kraatz, 2008). در استان اردبیل مصرف انرژی برای تولید گندم ۳۸/۳۶ گیگاژول بر هکتار می‌باشد که کود با ۳۸/۴۵ درصد، بیشترین سهم را در انرژی مصرفی دارد و در این استان، نسبت انرژی برای تولید گندم ۳/۱۳ و بهره‌وری آن ۰/۱۶ کیلوگرم بر مگاژول می‌باشد (Shahin *et al.*, 2008). نسبت انرژی برای تولید نیشکر در کشت و صنعت واحد دعبل خزائی خوزستان حدود ۵ گزارش شده است که ۷۵ درصد از انرژی ورودی را نهاده‌های انرژی مستقیم و ۲۵ درصد را نهاده‌های غیر مستقیم تشکیل می‌دهند (Nasirian *et al.*, 2006). نسبت انرژی گندم در مزارع تولید بذر استان آذربایجان شرقی برای عملکرد بیولوژیکی (مجموع کاه و دانه) ۰/۷۷۸ گزارش گردید در حالی‌که این نسبت برای دانه و کاه به‌صورت مجزا به‌ترتیب ۰/۴۲۴ و ۰/۳۶۴ بود (Valadiani *et al.*, 2005). نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که بیشترین مصرف انرژی در تولید بذر استان آذربایجان شرقی مربوط به کود ازته با میزان ۲۹/۸۸٪ و کمترین آن مربوط به نیروی انسانی با ۰/۳۹٪ می‌باشد. در منطقه ساوه، بیشترین نهاده مصرفی در تولید گندم آبی مربوط به آبیاری (۲۰/۹ گیگاژول بر هکتار) و در گندم دیم، مربوط به کود شیمیایی (۵/۷ گیگاژول بر هکتار) گزارش شد و نسبت انرژی در گندم آبی ۰/۶۷ تا ۱/۱۷ و در گندم دیم ۰/۹۹ به‌دست آمد (Safa and Tabatabaeefar, 2002). هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاشت بر انرژی ورودی و شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی در شهرستان اقلید بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار در شهرستان اقلید به مدت دو سال (۹۰-۸۸)، با تناوب گندم-گندم و در کرت‌های ثابت اجرا گردید که مشخصات خاک آن در جدول ۱ ارائه شده است. تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی (A)، خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی (B)، کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (C)، کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت (D) و کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا (E). کرت‌های آزمایشی در این تحقیق دارای ابعاد ۱۰×۵۰ متر بود و در تمام کرت‌های آزمایشی، بقایای خارج شده از پشت کمباین از کرت‌ها بیرون برده شد. بقایای ایستاده در کرت‌ها حفظ گردید به‌طوری‌که مقدار بقایای حفظ شده، ۲/۵ تن در هکتار بود. در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی اولیه با گاوآهن برگردان‌دار به عمق تقریبی ۲۵ سانتی‌متر انجام شد و خاک‌ورزی ثانویه شامل دوبار دیسک و لولر بود. در تیمار کم خاک‌ورزی، عملیات تهیه زمین با یک بار حرکت خاک‌ورز مرکب آمازون در عمق ۱۵سانتی‌متری خاک انجام شد. در تیمارهای کشت مستقیم بدون هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی، بذر با استفاده از مستقیم‌کارهای جیران صنعت و اسفوجیا کشت گردید. مشخصات ادوات استفاده شده در این تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است. آبیاری کرت‌ها به‌صورت غرقابی (سطحی) صورت گرفت و آب مصرفی در هر تیمار، ۱۱۹۷۰ مترمکعب در هکتار بود. کود اوره به میزان ۵۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار، کود فسفات به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و ریزمغذی‌ها به میزان ۲۸/۵ کیلوگرم در هکتار در هر تیمار مصرف گردید. تمام کود فسفات و قسمتی از کود اوره در زمان کاشت گندم و بقیه کود اوره و ریزمغذی‌ها به‌صورت سرک به کرت‌ها داده شد.

جدول ۱- خصوصیات خاک محل آزمایش

Table 1- Soil specifications of the field

هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($ds\ m^{-1}$)	ماده آلی Organic carbon (%)	اسیدیته PH	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Soil texture
0.49	0.59	8.1	38.2	42.8	19	Silty loam

جدول ۲- مشخصات ادوات استفاده شده در این تحقیق

Table 2- Specifications of the equipments used in this study

نوع ادوات Equipment type	مشخصات Specifications
گاوآهن	برگردان‌دار چهار خیش
Plow	Four shanks moldboard plow
دیسک	کششی، دارای دو گروه بشقاب و ۱۲ بشقاب
Disk harrow	Pulled type with two gangs and12 disks
خاک ورز مرکب	خاک‌ورز مرکب آمازون، سوار شونده و عرض کار ۳ متر
Tine and disk cultivator	Amazon tine and disk cultivator, mounted, and 3 meters wide
کمبینات	بذرکار-کودکار آمازون، نیوماتیک، ۲۸ ردیفه و عرض کار ۳ متر
Roto-seeder	Amazon pneumatic fertilizer-grain roto-seeder, 28 rows, and 3 meters wide
خطی‌کار معمولی	بذرکار-کودکار ماشین برزگر، ۱۲ ردیفه و با عرض کار ۲ متر
Conventional grain drill	Machine Barzegar fertilizer-grain drill, 12 rows, and 2 meters wide
خطی‌کار کشت مستقیم	بذرکار-کودکار اسفوجیا، ۱۷ ردیفه با شیاربازکن دیسکی و عرض کار ۳ متر
Direct seeder	SFOGGIA direct seeder, 17 rows with disk opener, and 3 meters wide

همچنین میزان علف‌کش مصرف شده ۳ لیتر در هکتار و به‌صورت محلول‌پاشی بود. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل عملکرد دانه و کاه (برداشت دستی ۱۰ متر مربع از هر کرت) و میزان مصرف نهاده‌ها بود و شاخص‌های انرژی براساس میانگین داده‌های دوساله محاسبه گردید. داده‌های تحقیق با استفاده از نرم افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل گردید و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

انرژی مربوط به نهاده‌ها و ستاده‌های هریک از روش‌های خاک‌ورزی و کاشت به معادل انرژی آنها تبدیل و سپس با استفاده از معادلات موجود، شاخص‌های انرژی محاسبه گردید. برای محاسبه‌ی انرژی‌های ورودی به مزرعه، انرژی مربوط به بذر، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی شامل ازته، فسفاته و ریزمغذی‌ها بر حسب کیلوگرم، از حاصل ضرب هم‌ارز انرژی (جدول ۳) در میزان استفاده از آنها به‌دست آمد (Ovtit-Canavate and Hernanz, 1999; Singh and Mittal, 1992). میزان سوخت مصرفی با استفاده از روش باک‌پر در هر تیمار تعیین گردید و در هم‌ارز انرژی آن ضرب و میزان انرژی آن محاسبه شد. انرژی مربوط به ساخت ماشین با واحد مگاژول بر هکتار براساس عمر اقتصادی ماشین، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ماشین، جرم ماشین و هم‌ارز انرژی و با استفاده از رابطه‌ی (۱) به‌دست آمد (Canavate and Hernanz, 1999):

$$ME = \frac{M.E}{T.C_a} \qquad (۱)$$

در این رابطه، ME انرژی مربوط به ساخت ماشین ($MJ\ ha^{-1}$)، T عمر اقتصادی ماشین (h)، C_a ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ماشین ($ha\ h^{-1}$)، M جرم ماشین (kg) و E هم ارز انرژی ($MJ\ kg$) می‌باشد. انرژی مصرفی برای آبیاری گندم در تیمارهای مختلف از مجموع انرژی مستقیم و غیرمستقیم به‌دست آمد. انرژی مستقیم، انرژی لازم برای بالا آوردن و تحت فشار قرار دادن آب مورد نیاز در هر هکتار بود که از رابطه‌ی (۲) محاسبه گردید (Kitani *et al.*, 1999):

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

DE انرژی مستقیم ($J\ ha^{-1}$)، ρ چگالی آب ($kg\ m^{-3}$)، g شتاب جاذبه ($m\ s^{-2}$)، Q میزان کل آب مورد نیاز محصول در یک فصل زراعی ($m^3\ ha^{-1}$)، h هد دینامیکی چاه (m)، η_1 راندمان پمپ (٪) و η_2 بازدهی کل تبدیل انرژی و توان می‌باشد. انرژی غیرمستقیم شامل مواد خام، ساخت و انتقال کلیه‌ی عواملی که در آبیاری دخالت دارند مانند تأسیسات زیر ساختی می‌باشد که انرژی مصرف شده در این قسمت با توجه به طول عمر تأسیسات تعیین می‌گردد. با توجه به این‌که محاسبه و تعیین انرژی غیرمستقیم مشکل بود، درصدی از انرژی مستقیم که برای آبیاری سطحی حدود ۲۰ درصد می‌باشد،

به‌عنوان انرژی غیرمستقیم در نظر گرفته شد (Kitani *et al.*, 1999). همچنین با توجه به مشخص بودن تعداد دفعات آبیاری مزرعه از مرحله‌ی کاشت تا برداشت و معلوم بودن زمان آبیاری و دبی پمپ در هر مرحله، میزان آب مصرف شده در هر هکتار بر حسب متر مکعب بر هکتار به‌دست آمد. سپس با ضرب کردن میزان آب مصرف شده در هر هکتار در واحد انرژی آب، میزان انرژی آب مصرف شده بر حسب مگاژول بر هکتار محاسبه شد.

انرژی کارگر مورد نیاز در تمام مراحل کشاورزی شامل آبیاری، وجین، هدایت تراکتور، سمپاشی و مدیریت مزرعه در نظر گرفته شد. مصرف انرژی برای هر کارگر با در نظر گرفتن ۸ ساعت کار در روز، ۲/۱۴۶ مگاژول در روز در نظر گرفته شد (Kaihani, 2006). کل انرژی کارگر با ضرب تعداد کارگرها در مقدار انرژی هر کارگر در روز، تعیین شد.

به‌منظور محاسبه انرژی خروجی، مقدار دانه تولید شده در شدت انرژی مربوط به دانه و مقدار کاه تولید شده در شدت انرژی مربوط به کاه ضرب و معادل انرژی آنها محاسبه شد (Ovtit-Canavate and Hernanz, 1999; Singh and Mittal, 1992). نسبت انرژی دانه و بیولوژیک (دانه و کاه)، افزوده خالص انرژی در واحد سطح و بهره‌وری انرژی با استفاده از روابط (۳) تا (۶) محاسبه گردید:

$$ER_b = \frac{BOE}{IE} \quad (۳)$$

$$ER_g = \frac{GOE}{IE} \quad (۴)$$

$$NEG = BOE - IE \quad (۵)$$

$$EP = \frac{Y}{IE} \quad (۶)$$

که در این روابط، ER_b نسبت انرژی بیولوژیک، ER_g نسبت انرژی دانه، NEG افزوده خالص انرژی بر حسب مگاژول بر هکتار، EP بهره‌وری انرژی بر حسب کیلوگرم بر مگاژول، IE انرژی ورودی بر حسب مگاژول بر هکتار، BOE انرژی خروجی دانه و کاه بر حسب مگاژول بر هکتار، GOE انرژی خروجی دانه بر حسب مگاژول بر هکتار و Y عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های انرژی ورودی و عملکرد دانه، کاه و بیولوژیک در تیمارهای مختلف نشان داد که تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و کاشت اثر معنی‌داری بر انرژی سوخت و انرژی ماشین‌آلات داشت در حالی‌که انرژی ورودی کل و عملکرد دانه، کاه و بیولوژیک تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و کاشت قرار نگرفت (جدول ۴). معنی‌دار نبودن اختلاف تیمارها از نظر عملکرد محصول، نشان‌دهنده قابلیت جایگزینی روش خاک‌ورزی مرسوم با روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد. همچنین با توجه به کاهش معنی‌دار انرژی‌های سوخت و ماشین‌آلات در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، انتظار می‌رفت که اختلاف بین تیمارها از نظر انرژی ورودی معنی‌دار باشد اما به دلیل سهم کم انرژی‌های سوخت و ماشین‌آلات از انرژی ورودی کل، این اتفاق نیفتاد.

جدول ۳- هم ارز انرژی نهاده‌های مختلف

Table 3- Energy equivalent of different inputs

نهاده Input	هم ارز انرژی Energy equivalent	نهاده Input	هم ارز انرژی Energy equivalent
دیزل Diesel	47.8 (MJ L^{-1})	نیتروژن Nitrogen	78.1 (MJ kg^{-1})
تراکتور Tractor	138.0 (MJ kg^{-1})	فسفات Phosphate	17.4 (MJ kg^{-1})
کمباین Combine	116.0 (MJ kg^{-1})	ریز مغذی‌ها Micronutrients	120.0 (MJ kg^{-1})
گاو آهن Plow	180.0 (MJ kg^{-1})	سم Chemical	85.5 (MJ L^{-1})
دیسک Disk harrow	149.0 (MJ kg^{-1})	بذر Seed	14.7 (MJ kg^{-1})
فاروئر Furrower	133.0 (MJ kg^{-1})	کارگر Labor	0.27 (MJ h^{-1})
نهرکن Ditcher	133.0 (MJ kg^{-1})	دانه گندم Wheat grain	13.0 (MJ kg^{-1})
مرزبند Lister	133.0 (MJ kg^{-1})	کاه گندم Wheat straw	12.5 (MJ kg^{-1})
سمپاش Sprayer	129.0 (MJ kg^{-1})		

جدول ٤- تجزیه واریانس داده‌های انرژی ورودی و عملکرد (اعداد نشان داده شده در جدول مقادیر F هستند)

Table 4- Variance analysis of input energy and yield data (F values are shown in this table)

منابع تغییر Variation sources	انرژی سوخت Fuel energy (MJ ha^{-1})	انرژی ماشین Machine energy (MJ ha^{-1})	انرژی کارگر Labor energy (MJ ha^{-1})	انرژی ورودی کل Total input energy (MJ ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	عملکرد کاه Straw yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biologic yield (kg ha^{-1})
تکرار Replication	0.35 ^{ns}	0.10 ^{ns}	7.00 *	0.45 ^{ns}	0.82 ^{ns}	7.02 *	3.67 ^{ns}
تیمار خاک‌ورزی و کاشت Tillage and planting treatment	290.91 **	6.28 *	0.47 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.66 ^{ns}	1.65 ^{ns}	0.29 ^{ns}

**: نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۹۹٪، *: نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال ۹۵٪ و ^{ns}: نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

**: Shows significant difference at the confidence level of 99%, *: Shows significant difference at the confidence level of 95%, and ^{ns}: Shows no significant difference between treatments.

مقایسه انرژی نهاده‌های ورودی برای تولید گندم آبی در تیمارهای مختلف (جدول ۵) نشان داد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر انرژی ورودی کل وجود ندارد هرچند تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بذرپاشی بیشترین انرژی ورودی (۱۰۴۳۱۴ مگاژول بر هکتار) را مصرف می‌کند و تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت دارای کمترین انرژی مصرفی (۱۰۱۶۲۲ مگاژول بر هکتار) است. تفاوت ایجاد شده در انرژی مصرفی تیمارهای مختلف به دلیل تفاوت انرژی سوخت، ماشین‌آلات و به مقدار کمی هم انرژی کارگر می‌باشد و انرژی نهاده‌های دیگر در تمام تیمارها مساوی است. تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و به‌خصوص تیمارهای کشت مستقیم به دلیل کاهش تعداد عملیات تهیه زمین و کاشت، دارای کمترین مصرف انرژی سوخت و ماشین‌آلات بوده‌اند و تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم بیشترین مصرف انرژی سوخت و ماشین‌آلات را به‌خود اختصاص داده‌اند. تحقیقات گذشته نیز نشان داده است که در استان فارس برای تولید ذرت علوفه‌ای به روش کم خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، انرژی بیشتری مصرف می‌گردد (Razzaghi *et al.,* 2012).

جدول ٥- انرژی نهاده‌های ورودی در تیمارهای مختلف و سهم آنها (در پرانتز) از انرژی ورودی کل

Table 5- Energy of inputs in different treatments and their share (in bracket) from the total input energy

تیمار Treatment	کود و سم Fertilizer and chemical (MJ)	آبیاری Irrigation (MJ)	سوخت Fuel (MJ)	بذر Seed (MJ)	ماشین‌آلات Machinery (MJ)	کارگر Labor (MJ)	انرژی کل Total input energy (MJ)
خاک‌ورزی مرسوم و بذرپاشی Conventional tillage and broadcasting (A)	47543 (45.58%)	46949 (45.01%)	5736 a (5.50%)	3675 (3.52%)	373 a (0.36%)	38 a (0.04%)	104314a (100%)
خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار ماشین برزگر Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill (B)	47543 (45.75%)	46949 (45.18%)	5401 b (5.20%)	3675 (3.54)	316 ab (0.30%)	34.8 a (0.03)	103919a (100%)
کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات Reduced tillage and seeding with roto-seeder (C)	47543 (45.74%)	46949 (45.17%)	5450 b (5.24%)	3675 (3.54%)	287 ab (0.28%)	34 a (0.03%)	103937a (100%)
کشت مستقیم با جیران صنعت Direct seeding with Jairan sanaat direct drill (D)	47543 (46.87%)	46949 (46.20%)	3250 d (3.20%)	3675 (3.62%)	172 c (0.17%)	33 a (0.03)	101622a (100%)
کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا Direct seeding with Sfoggia direct drill (B)	47543 (46.60%)	46949 (46.02%)	3585 c (3.51%)	3675 (3.60%)	241 bc (0.24%)	33 a (0.03%)	102026a (100%)

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters are not statistically different.

مقایسه سهم نهاده‌های مصرفی مختلف در انرژی ورودی برای تولید گندم آبی (جدول ۵) نشان داد که در تمام تیمارهای تحقیق، نهاده‌های کود و سم بیشترین درصد انرژی مصرفی را به‌خود اختصاص داده‌اند. هرچند مقدار انرژی مربوط به کود و سم در تمام تیمارها یکسان بود اما به دلیل مساوی نبودن کل انرژی مصرفی (ورودی) در تیمارهای مختلف، سهم انرژی کود و سم در تیمارهای مختلف مساوی به‌دست نیامد. نهاده‌های کود و سم در تیمار کشت مستقیم با جیران‌صنعت (تیمار D) به دلیل داشتن کمترین مقدار انرژی مصرفی کل در مقایسه با تیمارهای دیگر دارای بیشترین سهم انرژی ورودی بود در حالی‌که این نهاده‌ها کمترین سهم را در انرژی ورودی تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بذرپاشی (تیمار A) داشت. در تمام تیمارهای این تحقیق، انرژی مصرف شده جهت آبیاری گندم مکان دوم را در بین انرژی نهاده‌های ورودی برای تولید گندم داشت اما سهم این انرژی در انرژی مصرفی تیمارهای مختلف یکسان نبود. انرژی این نهاده نیز بیشترین سهم را در انرژی مصرفی تیمار کشت مستقیم با جیران‌صنعت (تیمار D) داشت و کمترین سهم این انرژی در تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بذرپاشی (تیمار A) به‌دست آمد. ذکر این نکته ضروری است که بیش از ۹۰ درصد انرژی مصرفی جهت تولید گندم آبی مربوط به نهاده‌های کود و آب می‌باشد و مجموع سهم نهاده‌های دیگر از انرژی مصرفی کل، کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. در منطقه ساوه، بیشترین نهاده مصرفی در تولید گندم دیم، کود بوده است در حالی‌که در تولید گندم آبی، آبیاری بیشترین سهم را به‌خود اختصاص داده است (Safa and Tabatabaeefar, 2002). همچنین در استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی کود بیشترین سهم را در انرژی مصرفی گندم آبی (اردبیل) و گندم دیم (آذربایجان شرقی) داشته است (Shahin *et al.*, 2008; Valadiani *et al.*, 2005). البته در تحقیق حاضر نیز سهم کود و آبیاری از انرژی مصرفی کل بسیار به هم نزدیک بود و اختلاف چندانی نداشت. بنابراین نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات انجام شده همخوانی نسبی دارد. انرژی سوخت ازجمله انرژی‌های مصرفی در تولید گندم است که شدیداً تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و کاشت می‌باشد به‌طوری‌که رتبه‌ی این انرژی را در بین انرژی مصرفی نهاده‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. کمترین درصد انرژی مصرفی مربوط به سوخت (۳/۲ درصد) در تیمار کشت مستقیم با جیران‌صنعت (تیمار D) حاصل شد و بیشترین سهم (۵/۵ درصد) مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بذرپاشی (تیمار A) بود. سهم بذر در انرژی مصرفی جهت تولید گندم آبی در تیمارهای مختلف بسیار نزدیک به هم بود هرچند به دلیل تغییرات چشمگیر سهم انرژی سوخت در تیمارهای مختلف، رتبه‌ی انرژی بذر در تیمارهای مختلف، متفاوت بود. به‌عنوان مثال بذر با سهم ۳/۵۲ تا ۳/۶۲ درصدی از کل انرژی مصرفی تیمارهای مختلف، در تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کم خاک‌ورزی (در این تیمارها سوخت در رتبه سوم بود) از نظر مصرف انرژی رتبه چهارم را داشت در حالی‌که در تیمارهای کشت مستقیم به دلیل کاهش سهم انرژی سوخت، به رتبه سوم صعود کرد. سهم این نهاده در انرژی مصرفی تیمارهای کشت مستقیم به دلیل کمتر بودن انرژی مصرفی کل، بیشتر از سایر تیمارها بود. سهم انرژی مربوط به ماشین‌آلات در تمام تیمارهای بررسی شده در این تحقیق کمتر از ۰/۵ درصد بود و همانگونه که انتظار می‌رفت، کمترین درصد انرژی مصرفی ماشین‌آلات مربوط به تیمارهای کشت مستقیم و بیشترین درصد مربوط به تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم بود. سهم انرژی کارگر در انرژی مصرفی تیمارهای مختلف بسیار ناچیز بود و بین تیمارها تفاوت چندانی از نظر سهم انرژی این نهاده وجود نداشت. در استان آذربایجان شرقی نیز نیروی کارگری کمترین سهم را در انرژی مصرفی تولید گندم داشته است (Valadiani, *et al.*, 2005). اصولاً در محصولات غیرردیفی که وجین دستی صورت نمی‌گیرد، انرژی و هزینه مربوط به کارگر ناچیز و قابل صرف نظر می‌باشد.

مقایسه عملکرد دانه، کاه و مجموع کاه و دانه (بیولوژیک) تیمارهای مختلف نشان داد که از لحاظ آماری بین تیمارهای مختلف از نظر این فاکتورها در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۶). بیشترین عملکرد دانه را تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت داشت و کمترین عملکرد دانه مربوط به کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا بود. دلیل بیشتر بودن عملکرد گندم در تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت در مقایسه با کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا، تفاوت در نوع شیاربازکن این دو نوع خطی‌کار می‌باشد. شیاربازکن خطی‌کار اسفوجیا دیسکی است و قادر نیست بقایای روی خط کشت را کنار بزند، بنابراین بقایای روی خط کشت علاوه بر ایجاد اختلال در سبز شدن بذر به دلیل عدم یکنواختی در عمق کاشت، دمای خاک اطراف بذر را کاهش داده و جوانه‌زنی و رشد بذر را کند می‌کند (به‌خصوص در مناطق سرد مثل شهرستان اقلید). در حالی‌که شیاربازکن خطی‌کار جیران صنعت بقایای روی خط کشت را کنار می‌زند و مانع کاهش دمای خاک اطراف بذر می‌گردد. بیشترین عملکرد کاه و عملکرد بیولوژیک (کاه و دانه) از تیمار کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات به‌دست آمد و تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت به دلیل اینکه کمترین عملکرد کاه را داشت، کمترین عملکرد بیولوژیک را به‌خود اختصاص داد.

جدول ٦- عملکرد دانه، کاه و بیولوژیک (مجموع کاه و دانه) در تیمارهای مختلف

Table 6- Grain, straw, and biologic yield of different treatments

تیمار Treatment	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	عملکرد کاه Straw yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biologic yield (kg ha^{-1})
خاک‌ورزی مرسوم و بذرپاشی Conventional tillage and broadcasting (A)	4218 a	7272 a	11490 a
خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار ماشین برزگر Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill (B)	4463 a	6983 a	11446 a
کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات Reduced tillage and seeding with roto-seeder (C)	4458 a	7491 a	11949 a
کشت مستقیم با جیران صنعت Direct seeding with Jairan sanaat direct drill (D)	4594 a	6805 a	11399 a
کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا Direct seeding with Sfoggia direct drill (E)	4134 a	7393 a	11527 a

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters are not statistically different.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های انرژی در تیمارهای مختلف نشان داد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین شاخص‌های انرژی در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و کاشت وجود ندارد (جدول ۷). به نظر می‌رسد یکسان بودن انرژی نهاده‌هایی که نقش مؤثری در انرژی ورودی تیمارهای مختلف دارند و همچنین معنی‌دار نشدن عملکرد محصول از دلایل عمده عدم معنی‌داری اختلاف بین تیمارها از نظر شاخص‌های انرژی می‌باشد.

جدول ۷- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های انرژی (اعداد نشان داده شده در جدول مقادیر F هستند)

Table 7- Variance analysis of energy indices data (F values are shown in this table)

منابع تغییر Variation sources	انرژی خروجی Output energy (MJ ha^{-1})	نسبت انرژی دانه Grain energy ratio	نسبت انرژی بیولوژیک Biologic energy ratio	افزوده خالص انرژی Net energy gain (MJ ha^{-1})	بهره‌وری انرژی Energy productivity (kg MJ^{-1})
تکرار Replication	3.59 ^{ns}	0.83 ^{ns}	3.59 ^{ns}	3.59 ^{ns}	3.50 ^{ns}
تیمار خاک‌ورزی و کاشت Tillage and planting treatment	0.28 ^{ns}	0.77 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.23 ^{ns}

^{ns}: نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها است.

^{ns}: Shows no significant difference between treatments.

مقایسه میانگین انرژی خروجی در تیمارهای مختلف (جدول ۸) نشان داد که تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت به دلیل داشتن بیشترین عملکرد دانه، بیشترین انرژی خروجی مربوط به دانه گندم را نیز به‌خود اختصاص داد. کمترین انرژی دانه به تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا به دلیل داشتن کمترین عملکرد دانه، تعلق گرفت. تیمار کم خاک‌ورزی و کاشت بذر با کمبینات به دلیل تولید بیشترین کاه، دارای بیشترین انرژی خروجی مربوط به کاه و همچنین بیشترین انرژی خروجی کل بود. تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا کمترین انرژی خروجی کاه و مجموع کاه و دانه (بیولوژیک) را به‌خود اختصاص داد.

نتایج مقایسه میانگین شاخص نسبت انرژی بیولوژیک در تیمارهای مختلف (شکل ۱) نشان داد که شاخص نسبت انرژی بیولوژیک در تمام تیمارهای تحقیق بزرگتر از ۱ بود که نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که در تمام تیمارها انرژی خروجی بیشتر از انرژی ورودی بوده است. نتایج همچنین نشان داد که تیمارهای حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم) دارای نسبت انرژی بیولوژیک بزرگتری در مقایسه با تیمارهای مرسوم بودند. در بین تیمارهای حفاظتی، تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (تیمار C) به دلیل

تولید کاه بیشتر، بزرگترین شاخص نسبت انرژی بیولوژیک (۱/۴۶) را به‌خود اختصاص داد و کوچکترین شاخص نسبت انرژی بیولوژیک در بین تمام تیمارها (۱/۴۰)، مربوط به دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم (تیمارهای A و B) بود. نتایج مقایسه میانگین تیمارهای تحقیق از نظر شاخص نسبت انرژی دانه (شکل ۲) نشان داد که این نسبت در تمام تیمارهای تحقیق کمتر از ۱ بود که نشان دهنده‌ی کمتر بودن انرژی خروجی تولید دانه گندم در مقایسه با انرژی ورودی برای تولید آن می‌باشد.

جدول ۸- انرژی خروجی در تیمارهای مختلف

Table 8- Output energy of different treatments

تیمار Treatments	انرژی دانه Grain energy (MJ)	انرژی کاه Straw energy (MJ)	انرژی خروجی کل Total output energy (MJ)
خاک‌ورزی مرسوم و بذرپاشی Conventional tillage and broadcasting (A)	54828 a	90900 a	145728 a
خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار ماشین برزگر Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill (B)	58019 a	87288 a	145307 a
کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات Reduced tillage and seeding with roto-seeder (C)	57954 a	93638 a	151592 a
کشت مستقیم با جیران صنعت Direct seeding with Jairan sanaat direct drill (D)	59722 a	85063 a	144785 a
کشت مستقیم با خطی کار اسفوجیا Direct seeding with Sfoggia direct drill (E)	53742 a	92413 a	146155 a

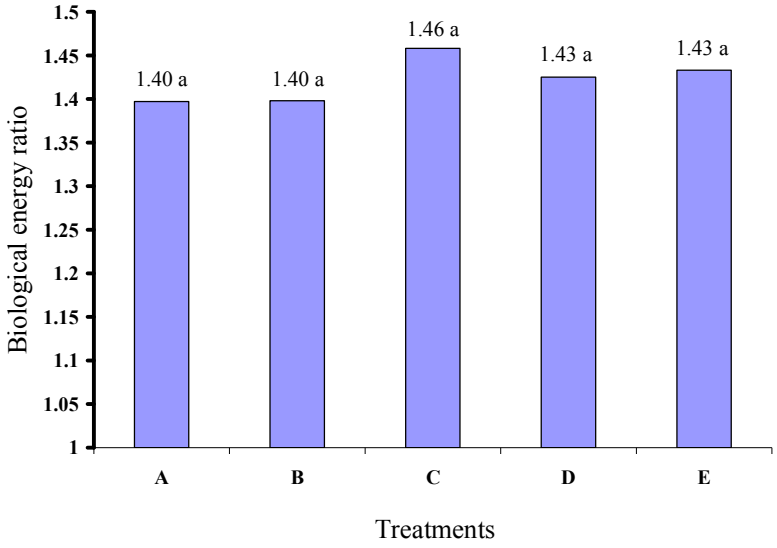
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters are not statistically different.

بنابراین چنانچه انرژی تولید شده توسط کاه گندم در نظرگرفته نشود، انرژی تولید شده توسط دانه‌ی گندم در این تحقیق کمتر از میزان انرژی مصرف شده برای تولید آن می‌باشد و تولید دانه‌ی گندم از نظر تعادل انرژی به هیچ‌وجه مقرون به صرفه نیست. در بین تیمارهای این تحقیق، تیمار خاک‌ورزی مرسوم و بذرپاشی (تیمار A) که کمترین نسبت انرژی بیولوژیک را داشت، کمترین نسبت انرژی دانه را نیز به‌خود اختصاص داد. اما بیشترین نسبت انرژی دانه به تیمار کشت مستقیم با خطی‌کار جیران‌صنعت (تیمار D) تعلق گرفت که شاخص نسبت انرژی بیولوژیک آن بیشترین نبود و تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (تیمار C) که در بین تیمارها دارای بیشترین شاخص نسبت انرژی بیولوژیک بود، از نظر شاخص نسبت انرژی دانه مشترکاً با تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی (B) در رتبه دوم قرار گرفت. در منطقه ساوه، نسبت انرژی در تولید گندم آبی ۰/۶۷ تا ۱/۱۷ گزارش گردید (Safa and Tabatabaeefar, 2002) که نزدیک به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق می‌باشد.

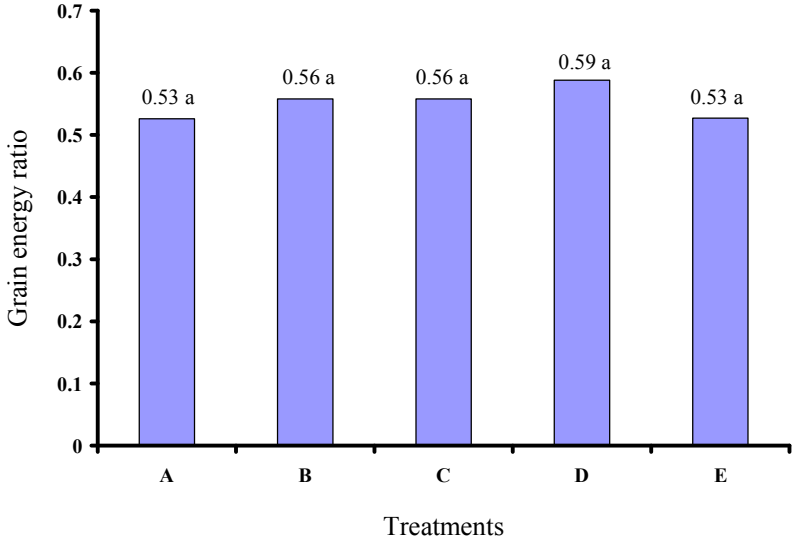
براساس نتایج مقایسه میانگین تیمارهای تحقیق از نظر افزوده خالص انرژی (شکل ۳)، تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (تیمار C) بیشترین میزان افزوده خالص انرژی را داشت و کمترین مقدار افزوده خالص انرژی مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی (تیمار B) بود هرچند اختلاف بین تیمارها از نظر آماری معنی‌دار نبود. همچنین از نظر افزوده خالص انرژی، تمام تیمارهای حفاظتی بالاتر از تیمارهای مرسوم قرار گرفتند. مقایسه میانگین تیمارها از نظر بهره‌وری انرژی (شکل ۴) نیز نشان داد که تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (تیمار C) بیشترین میزان تولید (کاه و دانه) را به‌ازای واحد انرژی مصرفی (۰/۱۱۵ کیلوگرم بر مگاژول) به‌خود اختصاص داده است. در بین تیمارهای مختلف، دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم دارای کمترین تولید (کاه و دانه) به‌ازای واحد انرژی مصرفی (۰/۱۱۰ کیلوگرم بر مگاژول) بودند. براساس نتایج این تحقیق، تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات از نظر تمام شاخص‌های بررسی شده شرایط بهتری نسبت به تیمارهای دیگر داشت. بنابراین چنانچه عملیات خاک‌ورزی (کم‌خاک‌ورزی) و کاشت در این تیمار ترکیب گردد، شاخص‌های انرژی در این تیمار به دلیل کاهش مصرف سوخت و انرژی ماشین‌آلات باز هم افزایش خواهد یافت. لذا این تیمار می‌تواند جایگزین مناسبی برای خاک‌ورزی و کاشت مرسوم گندم باشد. همچنین در این تحقیق به دلیل عدم امکان استفاده از آبیاری هوشمند، تمام تیمارها به یک مقدار و هم‌زمان آبیاری گردید در حالی‌که یکی از مزایای مهم خاک‌ورزی حفاظتی، افزایش حفظ رطوبت در خاک در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد و باعث صرفه‌جویی در مصرف آب در خاک‌ورزی حفاظتی

می‌گردد. بنابراین چنانچه امکان استفاده از سیستم آبیاری هوشمند وجود داشته باشد که هر تیمار به اندازه نیاز و در زمان لازم آبیاری گردد، نتایج مقایسه شاخص‌های انرژی در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بسیار دقیق‌تر و واقعی‌تر خواهد بود.



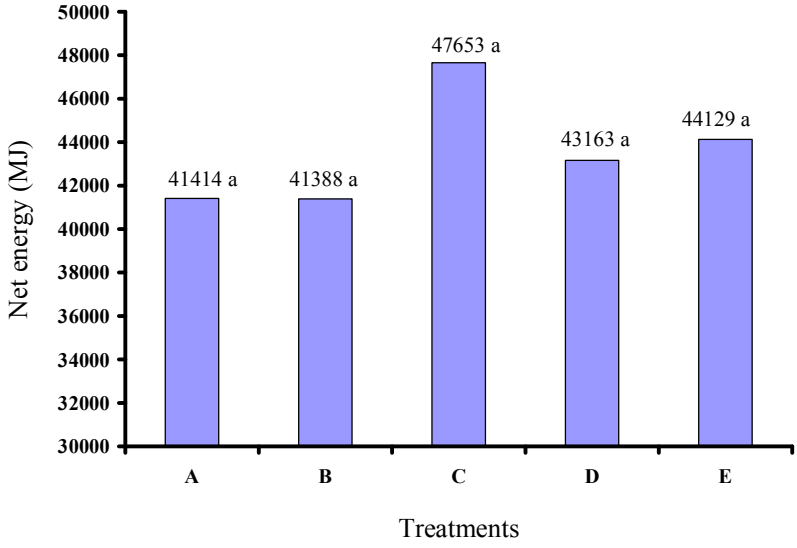
شکل ۱- نسبت انرژی بیولوژیک در تیمارهای مختلف (A: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی، B: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی، C: کم خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات، D: کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت و E: کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا)

Fig.1. Energy ratio for biologic yield in different treatments **(A:** Conventional tillage and seed broadcasting, B: Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill, C: Reduced tillage and seeding with roto-seeder, D: Direct seeding with Jairan Sanaat grain drill, and E: Direct seeding with Sfoggia direct drill**)**



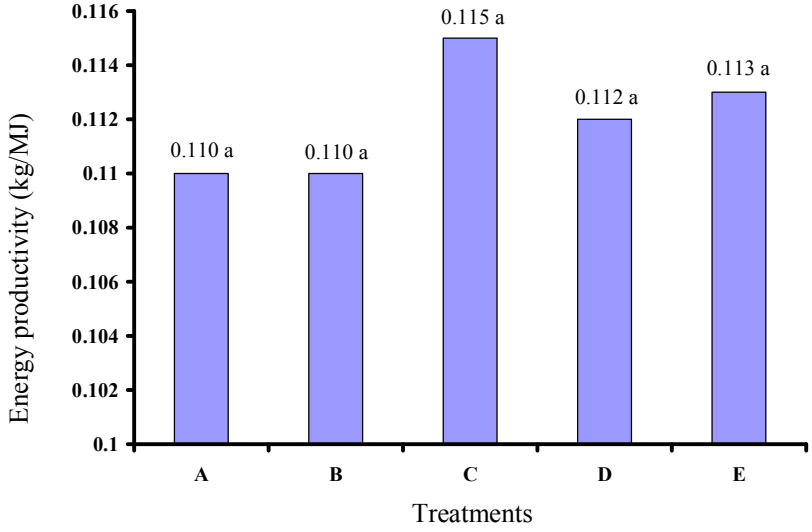
شکل ۲- نسبت انرژی دانه در تیمارهای مختلف (A: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی، B: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی، C: کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات، D: کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت و E: کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا)

Fig.2. Energy ratio for grain yield in different treatments **(A:** Conventional tillage and seed broadcasting, B: Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill, C: Reduced tillage and seeding with roto-seeder, D: Direct seeding with Jairan Sanaat grain drill, and E: Direct seeding with Sfoggia direct drill**)**



شکل ۳- افزوده خالص انرژی در تیمارهای مختلف (A: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی، B: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی، C: کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات، D: کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت و E: کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا)

Fig.3. Net energy gain in different treatments **(**A**:** Conventional tillage and seed broadcasting, B: Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill, C: Reduced tillage and seeding with roto-seeder, D: Direct seeding with Jairan Sanaat grain drill, and E: Direct seeding with Sfoggia direct drill**)**



شکل ٤- بهره‌وری انرژی در تیمارهای مختلف (A: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت به‌صورت بذرپاشی، B: خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی، C: کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات، D: کشت مستقیم با خطی‌کار جیران صنعت و E: کشت مستقیم با خطی‌کار اسفوجیا)

Fig.4. Energy productivity in different treatments **(**A**:** Conventional tillage and seed broadcasting, B: Conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill, C: Reduced tillage and seeding with roto-seeder, D: Direct seeding with Jairan Sanaat grain drill, and E: Direct seeding with Sfoggia direct drill**)**

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد کـه تیمارهـای خـاک‌ورزی حفـاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) با کاهش انرژی مصرفی نهـاده‌هـای سوخت و ماشین‌آلات باعث کاهش انرژی مصرفی کل در تولید گنـدم آبی گردید هرچند این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود. همچنین به دلیل کاهش انرژی مصرفی در تیمارهای خـاک‌ورزی حفـاظتی، ایـن تیمارها دارای نسبت انرژی، انرژی خالص و بهره‌وری انرژی بـالاتری نسبت به تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم بودند. لذا تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و به‌خصوص تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (به‌ویژه اگر عملیات خاک‌ورزی و کاشت در این تیمار ترکیب گردد) می‌تواننـد جایگزین مناسبی برای خاک‌ورزی و کاشت مرسـوم گنـدم در منطقـه اقلید باشند. همچنین بـرای مقایسـه دقیـق‌تـر ایـن روش‌هـا از نظـر شاخص‌های انرژی، بهتر است تفاوت در حجم آب مصرفی تیمارهـای مختلف نیز با استفاده از سیستم‌های آبیـاری هوشـمند مـد نظـر قـرار گیرد.

سپاسگزاری

از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان اقلید به دلیل تـأمین اعتبـار این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Afzalinia, S., S. E. Dehghanian, and M. H. Talati. 2009. Effect of conservation tillage on soil physical properties, fuel consumption, and wheat yield. 4th Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering, Rousse, Bulgaria.
2. Bilalis, D., P. E. Kamariari, A. Karkanis, A. Efthimladou, A. Zorpas, and I. Kakabouk. 2013. Energy inputs, output and productivity in organic and conventional maize and tomato production, under Mediterranean conditions. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici 41 (1): 190-194.
3. Chen, G., and C. Baillie. 2009. Development of a framework and tool to assess on-farm energy uses of cotton production. Energy Conversion and Management 50 (7): 1256-1263.
4. Friedrich, T., R. Derpsch, and A. Kassam. 2012. Overview of the global spread of conservation agriculture. The Journal of Field Actions Science Reports (Especial Issue) 6: 1-7.
5. Erenstein, O., and V. Laxmi. 2008. Zero tillage impacts in India's rice–wheat systems: A review. Soil Tillage Research 100: 1-14.
6. Hobbs, P. R., G. S. Giri, and P. Grace. 1997. Reduced and zero tillage options for the establishment of wheat after rice in South Asia. Rice-Wheat Consortium Technical Bulletin 6.
7. Kaihani, A. 2006. Preliminary evaluation of human energy in agricultural mechanization projects. Evaluation of energy trend in sugarcane production in an Agro-industry unit in south Ahvaz. 4th Congress on Agricultural Engineering and Mechanization, Tabriz, Iran. (In Farsi).
8. Kitani, O., T. Jungbluth, R. M. Peart, and A. Ramdani. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineers, Energy and Biomass Engineering, vol. 5, ASAE Publication, MI.
9. Kraatz, S. 2008. Energy inputs for corn production in Wisconsin and Germany. ASABE Annual International Meeting, Rhode, Island.
10. Loghvi, M., and A. Hoseinpour. 2004. Attachment of a v-wheel packer to a moldboard plow for combining primary and secondary tillage operations. Iranian Journal of Agricultural Science 35 (4): 1015-1024. (In Farsi).
11. McLaughlin, N. B., C. F. Drury, W. D. Reynolds, X. M. Yang, Y. X. Li, T. W. Welacky, and G. Stewart. 2008. Energy inputs for conservation and conventional primary tillage implements in a clay loam soil. Transactions of the ASABE 51 (4): 1153-1163.
12. Moraditochaee, M. 2012. Investigation energy indices of corn production in north of Iran. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science 7 (5): 376-379.
13. Nasirian, N., M. Almasi, S. Minaee, and H. Bakhoda. 2006. Evaluation of energy trend in sugarcane production in an Agro-industry unit in south Ahvaz. 4th Congress on Agricultural Engineering and Mechanization, Tabriz, Iran. (In Farsi).
14. Ovtit-Canavate, J., and J. L. Hernanz. 1999. Handbook of Agricultural Engineering, Energy and Biomass Engineering, vol. 5, ASAE Publication, MI, USA.
15. Pishgar Komleh, S. H., A. Keyhani, Sh. Rafiee, and P. Sefeedpary. 2011. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. Energy 36: 3335-3341.

16. Rafiee, S., S. H. Mousavi Avval, and A. Mohammadi. 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. Energy 35: 3301-3306.
17. Razzaghi, M., A. Waismoradi, and H. Rahmati. 2012. Energy efficiency of different tillage systems in forage corn production. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4 (22):1644-1652.
18. Rusu, T. 2005. The influence of minimum tillage systems upon the soil properties, yield and energy efficiency in some arable crops. Journal of Central European Agriculture 6 (3): 287-294.
19. Safa, M., and A. Tabatabaeefar. 2002. Energy consumption in wheat production in irrigatedand dryland farming. International Agricultural Engineering Conference, Wuxi, China.
20. Shahin, S., A. Jafari, H. Mobli, S. Rafiee, and M. Karimi. 2008. Effect of farm size on energy ratio for wheat production: A case study from Ardabil province of Iran. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 3 (4): 604-608.
21. Singh, S., and J. P. Mittal. 1992. Energy in Production Agriculture. Mittal Publications, New Delhi.
22. Valadiani, A., A. Hassanzadeh Ghoortape, and R. Valadiani. 2005. Evaluation of energy balance in rain fed wheat seed production in East Azerbaijan and its effect on environment. Agricultural Knowledge 15 (2): 1-12. (In Farsi).
23. Wang, X. B., D. X. Cai, W. B. Hoogmoed, O. Oenema, and U. D. Perdok. 2006. Potential effect of conservation tillage on sustainable land use: A review of global long-term Studies. Pedosphere 16 (5): 587-595.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 6, No. 1, Spring - Summer 2016, p. 236-249

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۶، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۵، ص ۲۴۹-۲۳۶

Energy indices in irrigated wheat production under conservation and conventional tillage and planting methods

S. M. Hosseini[1]- S. Afzalinia[2*]- K. Mollaee[3]

Received: 09-12-2013
Accepted: 10-08-2014

Introduction: Conservation tillage system was recommended for soil erosion control in North America for the first time 60 years ago (Wang *et al.*, 2006). Using this tillage system including minimum and zero tillage has been rapidly developed in recent years. Thearea covered by zero tillage in 2006 was 95 million ha all over the world (Dumanski *et al.*, 2006). In addition to saving soil and water resources, conservation tillage system reduces energy consumption and improves energy indices by combining different tillage and planting operations. Results of research conducted in Fars province shows that conservation tillage saves fuel consumption for 77% compared to the conventional system (Afzalinia *et al.*, 2009). Conservation tillage also reduces energy consumption from 23.6 to 42.8% in comparison to the conventional tillage (Rusu, 2005). Since energy indices would be affected by reduced input energies in conservation tillage, this research was conducted to evaluate the effect of different tillage and planting methods on energy inputs and energy indices in irrigated wheat production in Eghlid region.

Materials and Methods: This research was performed to evaluate and compare the energy indices in irrigated wheat production under different tillage and planting methods. The study was conducted in the form of a randomized complete block experimental design with five treatments and three replications in Eghlid region. The treatments were included, conventional tillage and seed broadcasting (A), conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill (B), reduced tillage and seeding with Roto-seeder (C), direct seeding with Jairan Sanaat grain drill (D), and direct seeding with Sfoggia direct drill (E). Experimental plots with 10 by 50 m dimensions were used in this study. Loss crop residues were taken out of the experimental plots and standing crop residues were retained in the plots. In the conventional tillage method, primary tillage was performed using a moldboard plow and secondary tillage operation was done using a disk harrow and land leveler. Seed bed was prepared in the reduced tillage method using a tine and disc cultivator which was able to complete the primary and secondary tillage operations simultaneously. Wheat seed was directly planted using direct planter without any seed bed preparation in the zero tillage method. Surface irrigation method was used to irrigate the plots and 11970 m^3/ha water was consumed in each treatment. Input energies including direct energy (diesel and electricity) and indirect energy (water, labor, seed, fertilizer, chemicals, and machinery) were measured and calculated. Output energies (energy of grain and straw) were measured in each treatment and the share of each input energy, energy ratio, net energy gain, and energy productivity were determined and compared. Collected data were analyzed using SAS software and Duncan's multiple range tests was used to compare the treatments means.

Results and Discussion: Results showed that tillage and planting methods had a significant effect on fuel and machinery energies; while, the total input energy, crop grain yield, and crop biologic yield were not affected by the tillage and planting methods (Table 4). Fertilizers and chemicals had the highest contribution in input energy of all treatments. Results also indicated that reduced tillage and seeding with Roto-seeder had the highest energy ratio (1.46) and the lowest energy ratio (1.40) was related to the conventional tillage methods (Fig.1). The highest net energy gain (47653 MJ) was obtained from the reduced tillage and seeding with Roto-seeder; while, the lowest amount of net energy gain (41388 MJ) was related to the conventional tillage and planting with Machine Barzegar grain drill (Fig.3). Results also showed that the reduced tillage and seeding with Roto-seeder had the highest energy productivity (0.115 kg MJ^{-1}) and the conventional tillage treatments had the lowest energy productivity of 0.110 kg MJ^{-1} (Fig.4).

Conclusions: Results of this study showed that conservation tillage treatments (minimum and zero tillage) reduced total energy consumption (input energy) by decreasing fuel consumption and mechanical energy (energy of machinery) compared to the conventional tillage. Therefore, conservation tillage treatments had the higher

1- Assistant Professor, Department of Soil and Water Research, Fars Research and Training Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran
2- Associate Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Fars Research and Training Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Shiraz, Iran
3- Department of Agricultural Machinery, Eghlid Azad University
(*- Corresponding Author Email: sja925@mail.usask.ca)

energy ratio, net energy gain, and energy productivity compared to the conventional treatments. For this reason, conventional tillage and planting methods could be replaced with conservation tillage systems in Eghlid region. Meanwhile, in order to obtain more accurate results in energy indices comparison, differences in water consumption in various tillage and planting methods should be also considered.

Keywords: Energy indices, Tillage methods, Wheat