تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۲/ شماره ۷۷/بهار ۱۴۰۰/ص ۶۸-۵۱
https://www.amsr.areeo.ac.ir

مقاله پژوهشی

اندازه‌گیری شاخص‌های انرژی برای تولید ذرت دانه‌ای در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی

هوشنگ افضلی گروه[1*]، فرزاد آزادشهرکی[2] و لادن شفیعی[3]

۱ و ۳- کارشناس ارشد بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران
۲- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۳

چکیده

اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی علاوه بر این‌که حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد، کاهش مصرف انرژی و هزینه تولید را به دنبال دارد. این تحقیق به منظور بررسی شاخص‌های انرژی ذرت دانه‌ای در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی (مرسوم، کم‌خاک‌ورزی با دیسک، کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر، بی‌خاک‌ورزی) در مزارع منطقه ارزوئیه در استان کرمان در سال زراعی ۱۳۹۶ اجرا شد. برای این‌منظور، پرسشنامه‌ای تهیه و داده‌ها از طریق مصاحبهٔ حضوری با کشاورزان جمع‌آوری شد. در این بررسی شاخص‌های بازده انرژی، افزوده خالص انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و کارایی مصرف آب محاسبه و تحلیل شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بیشترین بازده انرژی (۱/۸۱ مگاژول بر هکتار) و بیشترین افزوده خالص انرژی (۵۱۴۰۲ مگاژول بر هکتار) از کم‌خاک‌ورزی با دیسک به دست می‌آید. شاخص بهره‌وری انرژی برای سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی با دیسک، کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب ۰/۱۱۵، ۰/۱۱۵، ۰/۱۲۳ و ۰/۱۱۰ کیلوگرم به ازای مصرف هر مگاژول انرژی محاسبه شد. بیشترین انرژی ویژه (۹ مگاژول بر کیلوگرم) از خاک‌ورزی مرسوم و کمترین انرژی ویژه (۸/۱ مگاژول بر کیلوگرم) از کم‌خاک‌ورزی با دیسک حاصل شد. بیشترین کارایی مصرف آب (۰/۸۵ کیلوگرم به‌ازای هر متر مکعب آب) در کم‌خاک‌ورزی با دیسک دیده شده است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که در زراعت ذرت دانه‌ای در این منطقه بیشترین مقدار انرژی مصرفی به ترتیب در تأمین آب آبیاری، مصرف کود شیمیایی، به‌کارگیری ماشین‌های کشاورزی و سوخت مصرف می‌شود. اصلاح روش‌های آبیاری، مصرف بهینهٔ کودهای شیمیایی و استفاده از سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی برای تولید ذرت دانه‌ای می‌تواند در بهبود نسبت انرژی و افزایش درآمد کشاورزان منطقه موثر باشد.

واژه‌های کلیدی

آبیاری، انرژی ورودی و خروجی، بهره‌وری انرژی، خاک‌ورزی حفاظتی، کارایی مصرف آب

مقدمه

کشاورزی، مهم‌ترین بخش تولیدکنندهٔ مواد غذایی، نه تنها مصرف‌کنندهٔ انرژی است بلکه مهم‌ترین عرضه‌کنندهٔ آن نیز هست. این بخش از یک طرف با محدودیت منابع تولید روبه‌روست و از سوی دیگر تأمین‌کنندهٔ امنیت غذایی جمعیت در حال رشد است، از این‌رو باید توازنی بین برداشت و بهره‌برداری از منابع و تولید محصولات کشاورزی ایجاد شود. هرگونه افزایش در تولیدات کشاورزی به مقدار انرژی مصرفی در مزرعه بستگی دارد. خاک‌ورزی و مدیریت نهاده‌های

* نگارنده مسئول: Email: hooshangafzali@yahoo.com
http://doi: 10.22092/erams.2020.127145.1322

آن فاکتور مهمی در تولید ذرت دانه‌ای به شمار می‌روند و بهینه‌سازی این فاکتورها می‌تواند تولید ذرت دانه‌ای را در هر منطقه بهبود بخشد (Gowdy *et al.*, 2006). میزان انرژی ورودی و خروجی دو عامل مهم برای تعیین کارایی انرژی در کشاورزی است که در محصولات مختلف و نوع مدیریت بسیار متفاوت است (Rathke *et al.*, 2007). میزان انرژی ورودی کمتر در سامانه‌های زراعی، باعث افزایش راندمان انرژی نسبت به سامانه‌های انرژی پرنهاده می‌شود (Ghorbani *et al.*, 2009). یکی از چالش‌های بخش کشاورزی، عدم استفاده بهینه از منابع انرژی از جمله آب است؛ آب مورد نیاز برای آبیاری و انرژی مصرفی برای پمپاژ و انتقال آن به مزرعه یکی از نهاده‌های اساسی و انرژی‌بر در کشت‌های آبی محصولات زراعی است که حجم بالایی از انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد (Mousavi-Aval *et al.*, 2010).

سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای کشور در سال زراعی ۱۳۹۶ بیش از ۱۳۸ هزار هکتار بوده است. استان‌های خوزستان، کرمان، کرمانشاه و فارس به ترتیب با میانگین ۲۶۰۵۴، ۹۸۳۲۱، ۶۱۵۱۸ و ۱۳۰۳۵ هکتار بیشترین سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای کشور را داشته‌اند. استان کرمان در این سال با بیش از ۱۸۰ هزار تن تولید ذرت دانه‌ای در کشور جایگاه دوم را داشته است (Anon, 2017).

بررسی انرژی مصرفی برای تولید ذرت دانه‌ای در شهرستان دره‌شهر نشان داده است که آبیاری ۴۱ درصد و سموم شیمیایی ۱۴ درصد از کل انرژی مصرفی را دربرداشته‌اند (Kazemi *et al.*, 2007). محققان در بررسی میزان انرژی مصرفی برای تولید ذرت دانه‌ای در استرالیا گزارش کردند که ۴۰ تا ۶۰ درصد انرژی در آبیاری مصرف شده است (Chen & Bailie, 2009). در تحقیقات دیگر، کود شیمیایی و سوخت دیزل منبع بزرگ مصرف انرژی در تولید ذرت دانه‌ای معرفی شده‌اند (Amanlou *et al.*, 2010). در ترکیه با بررسی اثر خاک‌ورز بر مقدار انرژی مصرفی برای تولید ذرت دانه‌ای گزارش داده شد که بیشترین بازده انرژی (۸/۷۸ درصد) و بهره‌وری انرژی (۲/۱۲ کیلوگرم به ازای هر مگاژول) از کم‌خاک‌ورزی به دست آمده است (Bereket Barut *et al.*, 2011). ارزیابی شاخص‌های انرژی تولید گندم در سیستم‌های خاک‌ورزی و کشت حفاظتی در شهرستان اقلید استان فارس نشان می‌دهد تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات بیشترین نسبت انرژی (۱/۴۶ درصد) و بیشترین بهره‌وری انرژی (۰/۱۱۵ کیلوگرم به ازای هر مگاژول) را داشته است و کمترین انرژی خالص (۴۱۳۸۸ مگاژول) به تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی تعلق دارد. در یک تحقیق کل انرژی ورودی در مزارع ذرت دانه‌ای ۳۴۶۴۰ مگاژول در هکتار و کل انرژی خروجی ۱۰۲۹۷۳ مگاژول در هکتار برآورد شد و بیشترین سهم انرژی ورودی به ترتیب شامل کود نیتروژنی، سوخت و مصرف آب برای آبیاری به ترتیب با ۲۰/۸۰، ۳۱/۶، ۱۳/۳ درصد گزارش شد (Lorzadeh *et al.*, 2012). کیانی و هوشیار (Kiani & Houshyar, 2012) مصرف انرژی در گندم دیم در منطقه‌ای واقع در شمال استان خوزستان را با استفاده از پرسشنامه و دو گروه از کشاورزان در قالب نمونه‌های آماری بررسی کردند. کشاورزان گروه اول با روش خاک‌ورزی مرسوم و کشاورزان گروه دوم با روش خاک‌ورزی حفاظتی کشت می‌کردند. نتایج یافته‌های محققان نشان داد که کل انرژی ورودی برای

تولید گندم دیم برای هر هکتار در محدوده ۱۵۸۰۰ تا ۱۷۲۰۰ مگاژول در هکتار است. بر اساس یافته‌های پژوهشی این محققان، ۹۰ درصد انرژی برای مصرف کود، بذر و سوخت گزارش شده است، بیشترین کارایی مصرف انرژی ۹ مگاژول به ازای هر کیلوگرم گندم و نسبت انرژی خروجی به ورودی ۱/۶۳ در روش خاک‌ورزی حفاظتی به دست آمده است. مقایسهٔ شاخص‌های انرژی تولید گندم با روش‌های خاک‌ورزی و کشت مرسوم در شهرستان اقلید نشان می‌دهد بیشترین بهره‌وری انرژی از تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (۰/۱۱۵ کیلوگرم بر مگاژول) و کمترین بهره‌وری (۰/۱۱کیلوگرم بر مگاژول) از دو تیمار خاک‌ورزی مرسوم حاصل شده است (Hosseini *et al.*, 2016). هدایتی‌پور و یونسی‌الموتی (Hedayatipour & Younesi-Alamouti, 2018) در بررسی میزان انرژی مصرفی تولید گندم با روش‌های خاک‌ورزی گزارش داده‌اند بیشترین بهره‌وری انرژی به ترتیب در روش خاک‌ورزی مرسوم با ۰/۰۶۲ و روش بی‌خاک‌ورزی با ۰/۰۷۵ کیلوگرم دانه به ازای هر مگاژول انرژی به دست آمده است.

نتایج تحقیق اثر خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت دانه‌ای در غرب ترکیه نیز نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میزان مصرف سوخت در خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی، به ترتیب با میانگین ۶۰/۵ و ۷/۵ لیتر در هکتار، به دست آمده است (Yalcin & Cakir, 2006). در استان فارس تحقیقات نشان می‌دهد به کارگیری خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، منجر به صرفه‌جویی در مصرف سوخت به میزان ۷۷ درصد شده است (Afzalinia *et al.*, 2009). نتایج تحقیق دیگری نیز نشان‌دهندهٔ کاهش مصرف سوخت به میزان ۱۰ درصد در استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی به جای خاک‌ورزی مرسوم است (Chen & Bailie, 2009). در تحقیق دیگر، محققان تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر مصرف سوخت را ارزیابی و گزارش کردند که میزان مصرف سوخت در گاوآهن مرکب حدود ۳۷ لیتر در هکتار و در روش خاک‌ورزی مرسوم تقریبا ۵۸ لیتر در هکتار است (Younesi-Alamouti & Sharifi, 2012). بررسی منابع در زمینهٔ میزان مصرف انرژی در تولید ذرت دانه‌ای نتایج متفاوتی را در نقاط مختلف ایران و دنیا نشان می‌دهد.

با اینکه شهرستان ارزوئیه قطب تولید ذرت دانه‌ای در استان کرمان است (Najafinezhad *et al.*, 2005) در زمینهٔ میزان مصرف انرژی برای تولید این محصول تا کنون به طور جامع تحقیق نشده است. این تحقیق با هدف اندازه‌گیری شاخص‌های انرژی در تولید ذرت دانه‌ای در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی در شهرستان ارزوئیه استان کرمان اجرا شده‌است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۵ در منطقهٔ ارزوئیه واقع در ۲۷۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان با ارتفاع متوسط ۱۲۰۰ متر از سطح دریا در مزرعه کشاورزان پیشرو اجرا شد. این منطقه اقلیم گرم و خشک و تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد دارد. به دلیل حاصلخیزی خاک منطقه، این شهرستان یکی از قطب‌های کشاورزی استان کرمان محسوب می‌شود. سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای در این شهرستان ۱۲۰۰۰ هکتار است که بیش از ۷۰۰۰ هکتار از آن به روش حفاظتی است. اطلاعات مورد نیاز

این تحقیق از طریق مراجعهٔ حضوری و تکمیل پرسشنامه از ذرت‌کاران شهرستان ارزوئیه تهیه شد که مشتمل است بر اطلاعات مربوط به بهره‌بردار (نوع عملیات کشاورزی، نوع مالکیت، سطح زیر کشت و ...)، عملیات مختلف ماشینی (نوع عملیات، نحوهٔ اجرای عملیات، نوع و مدل ماشین‌ها، نوع تراکتور، میزان مصرف سوخت و...)، اطلاعات مربوط به آبیاری (روش آبیاری، منبع آب آبیاری، عمق چاه آب، میزان آبدهی، دور آبیاری، نوع موتور پمپ، تعداد ساعت آبیاری برای هر هکتار و ..) و اطلاعات مربوط به میزان نهاده‌های مصرفی و کارگر به ازای هر هکتار. برای تعیین روایی پرسشنامه قبل از تکمیل پرسشنامه با صاحب‌نظران و کارشناسان منطقه در اداره جهادکشاورزی، مراکز خدمات کشاورزی و مهندسان ناظر ذرت دانه‌ای، مصاحبه شد. پایایی پرسشنامه نیز با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شد.

ذرت دانه‌ای در منطقهٔ مورد مطالعه غالبا به چهار روش کشت می‌شود. روش مرسوم شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دو بار دیسک‌زدن، تسطیح و نهرکشی و سرانجام کاشت ذرت[1] (CT) ؛ روش کم‌خاک‌ورزی با دو بار دیسک‌زدن و کشت ذرت[2] (RT_1)؛ روش کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر و کشت ذرت (RT_2)، کشت مستقیم ذرت در بقایای گیاهی[3](NT)؛ سامانهٔ آبیاری مورد مطالعه آبیاری سطحی [4](FI) بود. به علت گسترده بودن جامعهٔ آماری مورد مطالعه در این تحقیق، نمونه‌برداری اجرا و در آن از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. برای تخمین انحراف معیار جامعه، یک نمونه از ۳۰ مزرعه از بین روستاهای منطقه به طور تصادفی انتخاب و در آن نسبت انرژی به عنوان یکی از پارامترهای مهم مورد بررسی انتخاب شد و انحراف معیار آن به دست آمد. حجم نمونه برای جمع‌آوری اطلاعات از کشاورزان ذرت‌کار از رابطهٔ ۱ محاسبه شد (Cochran, 1997). پس از مصاحبه با کشاورزان و تکمیل پرسشنامه‌ها، داده‌های خام استخراج شده در نرم‌افزار Excel تجزیه و تحلیل و نمودارها رسم شدند.

$$n = \frac{Nt^2s^2}{Nd^2 + t^2s^2} \qquad (۱)$$

که در آن،

n = حجم نمونه (تعداد مزارع ذرت دانه‌ای مورد مطالعه)؛ N = اندازهٔ جامعهٔ آماری (تعداد مزارع ذرت دانه‌ای موجود در منطقه)؛ t = ضریب اطمینان قابل قبول (که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t استیودنت به دست می‌آید)؛ s^2 = برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه (در اینجا واریانس نسبت انرژی در منطقهٔ مورد مطالعه)؛ و d = دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصلهٔ اطمینان).

برای محاسبهٔ مقدار انرژی مصرفی، کل نهاده‌های ورودی و خروجی محاسبه و پس از آن از فرمول‌های استخراج شده از منابع و هم‌ارز انرژی معادل خود (جدول ۱) استفاده شد. بررسی منابع در داخل کشور نشان می‌دهد هیچ‌گونه تحقیق یا گزارش مدونی در خصوص محاسبهٔ این هم‌ارزها وجود ندارد. از این‌رو سعی شد از هم‌ارزهای انرژی اندازه‌گیری شده در سایر کشورهایی که شرایط آنها با شرایط اقلیمی در محل این آزمایش همخوانی دارد استفاده شود. هرچند مقدار انرژی صرف شده برای تولید نهاده‌های کشاورزی

1- Conventional Tillage
2- Reduced Tillage
3- No Tillage
4- FI

(سم- کود- بذر و ...) در کشور با سایر کشورها متفاوت است و نمی‌تواند مقیاس دقیقی برای ارزیابی باشد، اما به ناچار، تا زمان اندازه‌گیری و محاسبهٔ این هم‌ارزها، کاربرد این اعداد در محاسبات تخمینی است که ممکن است به واقعیت نزدیک باشد.

انرژی ورودی به سامانهٔ تولید ذرت دانه‌ای دو بخش دارد: انرژی مستقیم (شامل انرژی سوخت، برق، آب آبیاری، نیروی انسانی) و انرژی غیر مستقیم (شامل کود شیمیایی، سموم، ماشین‌ها و بذر مصرفی (Banaeian & Zangeneh, 2011).

انرژی ورودی: مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید محصول کشاورزی در واحد سطح است و معمولا بر حسب کیلوکالری بر هکتار یا مگاژول بر هکتار بیان می‌شود.

انرژی خروجی: مقدار انرژی محصول و شامل انرژی متابولیکی موجود در دانه است که بر حسب مگاژول بر هکتار بیان می‌شود. مقدار انرژی موجود در محصول با به دست آوردن مقدار مادهٔ خشک و ضرب کردن آن در ارزش انرژی آن محاسبه شده است. ارزش انرژی ذرت ۱۴/۷ مگاژول بر کیلوگرم است و آن انرژی حاصل از سوختن یک کیلوگرم ذرت دانه‌ای با ۱۳ درصد مادهٔ خشک و ۰/۴ درصد خاکستر است که با بمب کالری‌متر اندازه‌گیری می‌شود (Suda *et al.*, 1989).

نسبت انرژی: نسبت کل انرژی خروجی (تولیدی) سامانه به کل انرژی ورودی (نهاده‌ها) است که از رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود (Singh *et al.*, 2008).

$$\text{نسبت انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی ورودی}} \qquad (۲)$$

افزودهٔ خالص انرژی: تفاضل انرژی خالص خروجی و انرژی ورودی به سامانه است که بر حسب مگاژول بر هکتار سنجیده و از رابطهٔ ۳ به دست می‌آید (Kitani, 1999).

$$\text{افزوده خالص انرژی} = \text{انرژی خروجی} - \text{انرژی ورودی} \qquad (۳)$$

بهره‌وری انرژی: مقدار محصول تولید شده به ازای هر واحد انرژی مصرف شده است که بر حسب کیلوگرم بر مگاژول و از رابطهٔ ۴ محاسبه می‌شود (Ozkan *et al.*, 2004).

$$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد وزنی محصول}}{\text{کل انرژی ورودی}} \left(\frac{Kg}{MJ}\right) \qquad (۴)$$

انرژی ویژه: مقدار انرژی مصرفی برای تولید یک واحد جرم محصول بر حسب مگاژول بر کیلوگرم است و از رابطهٔ ۵ محاسبه می‌شود (Kitani,1999).

$$\text{انرژی ویژه} = \frac{\text{کل انرژی ورودی}}{\text{عملکرد وزنی محصول}} \left(\frac{MJ}{Kg}\right) \qquad (۵)$$

انرژی سوخت مصرفی: انرژی سوخت مصرفی عملیات زراعی شامل انرژی مورد نیاز مراحل شخمزدن، دیسک زدن، تسطیح، بذرکاری، کودپاشی و سمپاشی است. برای تخمین سوخت مصرفی، از پرسشنامه استفاده شد. پرسشنامه‌ها را رانندگان تراکتور تکمیل کردند که اغلب خود کشاورزان بودند. برای افزایش اطمینان، به طور تصادفی در چند عملیات میزان سوخت مصرفی در هکتار به روش باک پر اندازه‌گیری و با یافته‌های پرسشنامه‌ها تطبیق

داده شد. برای این منظور قبل از آغاز به کار، باک تراکتور از گازوئیل پر شد و پس از اتمام سطح مشخصی از عملیات کشاورزی، مقدار گازوئیل مصرف شده برای آن سطح و در نتیجه میزان سوخت مصرفی در هکتار محاسبه شد (جداول ۲ و ۳). برای محاسبهٔ انرژی سوخت مصرفی، از جدول‌های هم‌ارز انرژی (جدول ۱) و رابطهٔ ۶ استفاده شد.

$$E_P = Q_i \times E_i \qquad (۶)$$

که در آن،

Ep = انرژی سوخت بر حسب مگاژول بر هکتار؛ Qi = مقدار سوخت مصرف شده بر حسب لیتر بر هکتار؛ و Ei = انرژی معادل هر واحد سوخت بر حسب مگاژول بر لیتر.

انرژی ماشین: برای محاسبهٔ مقدار انرژی مربوط به ساخت ماشین با واحد مگاژول بر هکتار بر اساس عمر اقتصادی ماشین، ظرفیت مزرعه ای موثر ماشین، جرم ماشین و هم‌ارز انرژی و از رابطهٔ ۷ محاسبه شد (Koocheki, 1994).

$$E_m = \frac{M \times E}{T \times C_a} \qquad (۷)$$

که در آن،

E_m = انرژی مربوط به ساخت ماشین (مگاژول بر هکتار)؛ M = وزن ماشین (کیلوگرم)؛ E = هم‌ارز انرژی (مگاژول بر کیلوگرم)؛ T = عمر اقتصادی ماشین (ساعت)؛ و C_a = ظرفیت مزرعه‌ای موثر ماشین (هکتار در ساعت) و از رابطهٔ ۸ محاسبه می‌شود (Almassi *et al.*, 2008)

$$C_a = \frac{v.w.\eta}{10} \qquad (۸)$$

که در آن،

C_a= ظرفیت مزرعه‌ای موثر ماشین (هکتار در ساعت)؛ v = سرعت حرکت ماشین (کیلومتر بر ساعت)؛ w = عرض کار دستگاه (متر)؛ و η = راندمان مزرعه‌ای ماشین.

انرژی آبیاری: برای محاسبهٔ انرژی لازم برای تأمین آب آبیاری، سه پارامتر شامل برق مصرفی، الکتروموتور، توربین و لوله و حجم آب مصرفی دخالت دارند که هر یک به تفکیک محاسبه و در هم‌ارز انرژی خود ضرب می‌شود و مجموع آنها به عنوان انرژی تأمین آب آبیاری لحاظ می‌گردد.

برق مصرفی: با توجه به برقی بودن چاه‌ها، میزان مصرف انرژی بر اساس مدت زمان کارکرد الکتروپمپ و بر حسب کیلووات ساعت به دست می‌آید.

الکتروموتور، توربین و لوله: انرژی مصرفی برای آبیاری، از مجموع انرژی مستقیم و غیرمستقیم به دست می‌آید. انرژی مستقیم انرژی لازم برای بالا آوردن و تحت فشار قرار دادن آب مورد نیاز در هر هکتار است که از رابطهٔ ۹ محاسبه می‌شود (Kitani, 1999).

$$DE = \frac{Q.\rho.g.h}{\eta 1.\eta 2} \times C_a \qquad (۹)$$

که در آن،

DE = انرژی مستقیم (ژول بر هکتار)؛ ρ = چگالی آب (کیلوگرم بر متر مکعب (۱۰۰۰ کیلوگرم در متر مکعب))؛ g = شتاب جاذبه (متر بر مجذور ثانیه (۹/۸۱))؛ Q = حجم کل آب مورد نیاز محصول در یک فصل زراعی (متر مکعب بر هکتار)؛ h = هد دینامیکی چاه (متر)؛ $\eta 1$ = راندمان پمپ (درصد (۷۰ تا ۹۰

درصد))؛ و $\eta 2$ = بازده کل تبدیل انرژی و توان که برای پمپ‌های برقی معمولا ۰/۲-۰/۱۸ در نظر گرفته می‌شود (Hedayatipour & Younesi-Alamouti, 2018).

انرژی غیرمستقیم شامل مواد خام، ساخت و انتقال عوامل دخیل در آبیاری. انرژی مصرف شده در این قسمت را با توجه به طول عمر تأسیسات و بین ۱۵ تا ۲۰ درصد انرژی مستقیم در نظر می‌گیرند (Kitani, 1999). در این تحقیق، انرژی غیر مستقیم ۲۰ درصد انرژی مستقیم در نظر گرفته شده است.

برای محاسبهٔ میانگین حجم آب مصرفی در هر دور آبیاری، حجم آب مصرفی در چند مزرعه با پارشال فلوم اندازه‌گیری شد. با توجه به مشخص بودن دور آبیاری (۸ روز در میان) و تعداد دفعات آبیاری مزرعه از مرحلهٔ کاشت تا برداشت، حجم آب مصرف شده در هر هکتار بر حسب متر مکعب در هکتار محاسبه شد.

کارایی مصرف آب: از نسبت عملکرد وزنی بر حسب کیلوگرم و آب مصرفی بر حسب متر مکعب و از رابطهٔ ۱۰ محاسبه شد.

$$\text{کارایی مصرف آب} = \frac{\text{عملکرد وزنی}}{\text{حجم آب مصرفی}} \qquad (۱۰)$$

انرژی غیر مستقیم شامل بذر، کود و سم: میزان مصرف هر یک از نهاده‌های بذر، کود و سموم در هر یک از سامانه‌ها براساس اظهارات کشاورزان در پرسشنامه تعیین و پس از آن برای محاسبهٔ انرژی غیر مستقیم، از جدول‌های هم‌ارز انرژی (جدول ۱) و رابطهٔ ۱۱ استفاده شد.

$$w_s = W_i \times E_i \qquad (۱۱)$$

که در آن،

W_s = انرژی نهاده بر حسب مگاژول بر هکتار؛ W_i = وزن نهاده بر حسب کیلوگرم بر هکتار؛ و E_i = انرژی موجود در هر کیلوگرم نهاده بر حسب مگاژول بر کیلوگرم.

انرژی نیروی انسانی (کارگری): انرژی مصرفی نیروی انسانی، با توجه به اطلاعات موجود در پرسشنامه، تعداد کارگر مورد نیاز برای هر کار، همچنین مدت زمان اجرای عملیات توسط هر کارگر مشخص شد. هم‌ارز انرژی نیروی انسانی در تعداد نفر ضرب و انرژی مصرفی بر حسب مگاژول بر ساعت محاسبه شد. سپس تعداد ساعات کاری هر نفر تعیین شده و در نهایت انرژی مصرفی برای نیروی انسانی از رابطهٔ ۱۲ محاسبه شد.

$$E_l = W_l \times E_i \qquad (۱۲)$$

که در آن،

E_l = انرژی کارگری (مگاژول بر هکتار)؛ W_l = مدت‌زمان کار کارگری (ساعت بر هکتار)؛ و Ei = انرژی موجود به ازای هر کارگر (مگاژول بر ساعت).

جدول ۱- هم‌ارز انرژی نهاده‌های مصرفی در تولید ذرت

Table 1- Equivalent energy for inputs Production of corn

انرژی نهاده Input energy	واحد انرژی (Energy Unit) (MJ unit-1)	هم‌ارز انرژی (مگا ژول MJ) ✶ Equivalent energy	مرجع✶ (References)
نیروی انسانی (Laber)	ساعت (h)	1.96	(Rathke *et al*., 2007)
بذر ذرت (Seeds corn)	کیلوگرم (kg)	14.7	(Houshyar *et al*., 2012)
کود نیتروژن (Nitrogen)	کیلوگرم (kg)	60.6	(Akcaoz *et al*., 2009)
کود فسفات (Phosphate)	کیلوگرم (kg)	11.96	(Akcaoz *et al*., 2009)
کود پتاسیم (Potassium)	کیلوگرم (kg)	6.7	(Akcaoz *et al*., 2009)
آفت‌کش (Pesticides)	کیلوگرم (kg)	237	(Rathke *et al*., 2007)
علف‌کش (Herbicides)	کیلوگرم (kg)	278	(Rathke *et al*., 2007)
تراکتور (Tractors)	کیلوگرم (kg)	158.3	(Bereket Barut *et al*., 2011)
گاوآهن برگردان‌دار (Moldboard Plow)	کیلوگرم (kg)	180	(Kitani, 1999)
دیسک (Harrow Disc)	کیلوگرم (kg)	149	(Kitani, 1999)
ذرت کار (Corn Planter)	کیلوگرم (kg)	133	(Kitani, 1999)
کودپاش (Fertilizer)	کیلوگرم (kg)	129	(Kitani, 1999)
ماله (Land Leveler)	کیلوگرم (kg)	16.3	(Kitani, 1999)
نهرکن (Ditcher)	کیلوگرم (kg)	133	(Kitani, 1999)
کولتیواتور (Cultivator)	کیلوگرم (kg)	133	(Kitani, 1999)
سم‌پاش (Sprayer)	کیلوگرم (kg)	129	(Kitani, 1999)
خشک کن ذرت (Corn Dryer)	کیلوگرم (kg)	0.86	(Kitani, 1999)
الکتروموتور (Eletrical motor)	ساعت (h)	2.3	(Kitani, 1999)
توربین (Turbines)	ساعت(h)	1.56	(Kitani, 1999)
کمباین (Combine)	کیلوگرم (kg)	263	(Kitani, 1999)
سوخت دیزل (Disel)	لیتر (l)	56.1	(Bereket Barut *et al*., 2011)
برق (Electricity)	کیلووات ساعت (KWh)	3.6	(Gundogmus, 2006)
آب (Waterer)	متر مکعب (m^3)	0.63	(Hatirli *et al*., 2005)

* ضریب‌های هم ارز استفاده شده در این تحقیق، حاصل اندازه‌گیری‌ها در کشورهای غیر از ایران است. در ایران، ضریب‌های هم ارز مطالعه نشده و از این‌رو از هم‌ارزهایی استفاده شده است که در کشورهایی با شرایط اقلیمی همخوان با شرایط اقلیمی منطقه به دست آمده‌اند. لذا برای دقت بیشتر باید ضریب‌های هم‌ارز به طور مستقل برای هر منطقه محاسبه شوند.

*The equivalence coefficients used in this study are the result of measurements in countries other than Iran. In Iran, equivalence coefficients have not been studied and therefore equivalents have been used that have been obtained in countries with climatic conditions consistent with the climatic conditions of the region. Therefore, for more accuracy, homogeneous coefficients should be calculated independently for each region.

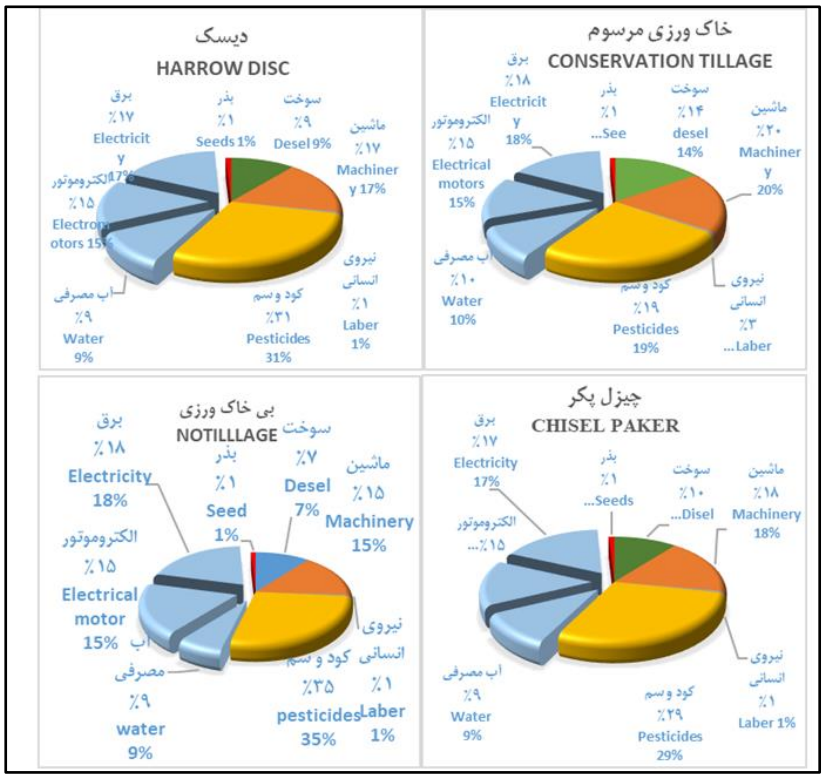
نتایج و بحث

در بررسی میزان انرژی مصرفی در تولید ذرت در منطقهٔ ارزوئیه، مقادیر ورودی و خروجی انرژی و نیز شاخص‌های انرژی در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است.

سهم انرژی مصرفی نهاده‌ها در تولید ذرت دانه‌ای

بررسی میزان انرژی مصرفی در تولید ذرت دانه‌ای به تفکیک برای هر نهاده (جدول ۳) نشان می‌دهد که تأمین آب آبیاری بیشترین انرژی مصرف شده را دارد.

با توجه به اینکه آب مورد نیاز کشاورزان با پمپاژ کردن آن از چاه تأمین می‌شود، هزینهٔ تجمعی حاصل از برق مصرفی، توربین و حجم آب مصرفی به عنوان میزان انرژی آب آبیاری محاسبه شد. مصرف زیاد انرژی برق و تاسیسات به واسطهٔ پمپاژ آب از چاه مشهود است (شکل ۱). در این تحقیق، مهم‌ترین عامل انرژی‌بر برای تولید ذرت دانه‌ای در منطقه، تأمین آب آبیاری است به طوری‌که مصرف انرژی، برای تأمین آب به ترتیب برای خاک‌ورزی مرسوم و برای دیسک زدن، چیزل پکر و بی‌خاک‌ورزی ۴۱ درصد کل انرژی محاسبه شد (شکل ۱). کاهش ۲ درصد در میزان آب مصرفی در سامانه‌های حفاظتی، نسبت به روش مرسوم، نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت بقایای گیاهی بر حفظ رطوبت خاک است. مشابه این نتایج در مطالعات سایر محققان نیز به چشم می‌خورد. برای تولید ذرت دانه‌ای در استرالیا، مقدار انرژی برای تأمین آب آبیاری در سامانه‌های مختلف ۴۰ تا ۶۰ درصد کل مقدار انرژی مصرفی گزارش شده است (Chen & Bailie, 2009) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.



شکل ۱- مقدار و محتوی انرژی نهاده‌های مصرفی تولید ذرت دانه‌ای در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی

Figure 1- Amountes and energy equiyalent of input in production of grain corn in different tillage systems

دومین عامل انرژی‌بر برای تولید ذرت دانه‌ای در منطقه، کود و سموم شیمیایی است. شکل ۱ سهم بالای کود شیمیایی را در سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی نشان می‌دهد. مصرف کود و سموم شیمیایی برای خاک‌ورزی مرسوم، چیزل‌پکر، دیسک و بی خاک‌ورزی به ترتیب ۱۹، ۳۱، ۲۹ و ۳۵ درصد محاسبه

شده است. افزایش مصرف کود و سم در سامانهٔ خاک‌ورزی حفاظتی، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، به دلیل مصرف بیشتر کود اوره برای تجزیهٔ بقایای گیاهی و افزایش مصرف بیشتر سموم برای غلبه بر علف هرز و آفات در این روش‌هاست. از سوی دیگر، علت اصلی مصرف بالای کودهای شیمیایی در منطقهٔ مورد مطالعه، پایین بودن سطح آگاهی برخی از کشاورزان در فعالیت‌های کشاورزی و نبود آزمایش خاک است. سهم بالای انرژی کود نشان می‌دهد کشاورزان از زمان مناسب کوددهی و مقدار کاربرد آن آگاهی کافی ندارند. کشاورزان منطقه برای بالا بردن عملکرد محصول، کود شیمیایی خصوصاً اوره را زیاد مصرف می‌کنند. کود اوره نسبت به سایر کودها با بیش از ۲۰ درصد انرژی مصرفی پرمصرف‌ترین کود است. مقدار انرژی حاصل از مصرف کودهای فسفردار، پتاسیم‌دار و کود دامی نسبت به کود نیتروژنی ناچیز است. با توجه به پرمصرف بودن کود نیتروژنی در مزارع ذرت دانه‌ای، این امر بدیهی به نظر می‌رسد، اما نکتهٔ قابل توجه در این خصوص کاربرد کم کود دامی یا استفاده نکردن از آن است. شکل ۱ همچنین سهم انرژی مصرفی ماشین را در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی نشان می‌دهد. سومین نهادهٔ پرمصرف انرژی ماشین برای تولید محصول ذرت دانه‌ای است. میزان مصرف انرژی ماشین در خاک‌ورزی مرسوم، دیسک، چیزل و بی خاک‌ورزی با میانگین به ترتیب ۲۰، ۱۷، ۱۸ و ۱۵ درصد محاسبه شد. کاهش میزان مصرف انرژی در سامانه‌های حفاظتی نسبت به روش مرسوم کاملا آشکار است. این امر نشان از کاهش تردد ماشین‌های خاک‌ورزی در مزرعه است (شکل ۱).

یکی از علل بالاتر بودن مصرف انرژی ماشین در سامانهٔ مرسوم، متناسب نبودن ماشین با مزرعه است. کشاورزان در مزارع کوچک قادر به استفادهٔ کامل از ظرفیت ماشین‌ها و ادوات نیستند اما در مزارع بزرگ‌تر، به دلیل متناسب بودن ظرفیت ماشین‌ها با سطح بهره‌برداری، از تمام ظرفیت ماشین استفاده می‌شود که این امر به خودی خود باعث کاهش مصرف انرژی در این سطوح می‌شود. پژوهشگران از جمله آرویدسون (Arvidson, 2010) گزارش کرده‌اند که سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی مصرف انرژی را نسبت به سامانه خاک‌ورزی مرسوم کاهش می‌دهند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. متوسط مقدار مصرف سوخت در سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی با دیسک، کم‌خاک‌ورزی با چیزل‌پکر و بی‌خاک‌ورزی، در تمام مراحل تولید از خاک‌ورزی تا خشک شدن ذرت دانه‌ای، به ترتیب ۱۷۳، ۱۰۵، ۱۲۲ و ۷۵ لیتر در هکتار است (جدول ۲). سوخت مصرف شده برای سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم، شامل مراحل شخم، دیسک، تسطیح، بذرکاری، کودپاشی، ایجاد نهر، داشت و برداشت با کمباین بود. اما در سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی با دیسک، چیزل پکر و بی‌خاک‌ورزی عملیات خاک‌ورزی کاهش ولی عملیات برداشت مشابه روش مرسوم بود (جدول ۲).

شکل ۱ میزان انرژی سوخت در روش‌های مختلف خاک‌ورزی را نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین درصد انرژی مصرف سوخت به‌ترتیب در سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم (۱۴ درصد) و بی‌خاک‌ورزی (۷ درصد) دیده می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد مصرف این مقدار نهاده در منطقهٔ مورد مطالعه در سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم نسبت به سایر سامانه‌ها بیشتر است. دلیل افزایش سهم انرژی سوخت در منطقهٔ مورد مطالعه، متناسب نبودن ادوات با تراکتورهای مورد

استفاده و تنظیم نبودن پمپ انژکتور تراکتورها و تردد بیش از اندازهٔ تراکتور در سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم است. تحقیقات در استان فارس نشان می‌دهد استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، به صرفه‌جویی در مصرف سوخت به میزان ۷۷ درصد گردیده است (Afzalinia *et al.*, 2009). در مطالعه‌ای دیگر نیز نهادهٔ سوخت دیزل با ۴۲ درصد از سهم انرژی مصرفی در تولید ذرت دانه‌ای، جزء نهاده‌های پرمصرف انرژی گزارش شده است (Banaeian & Zangeneh, 2011). میزان مصرف انرژی برای بذر استفاده شده در همهٔ روش‌ها معادل ۱ درصد کل هزینه‌ها و برای نیروی انسانی در تولید ذرت دانه‌ای در روش‌های مرسوم ۳ و در سامانه‌های حفاظتی ۱ درصد محاسبه شده است (شکل ۱). پایین بودن میزان مصرف انرژی برای نیروی انسانی و بذر مصرفی بازتابی از مکانیزه بودن عملیات مختلف کاشت، داشت و برداشت ذرت دانه‌ای در منطقه است.

جدول ۲- مقدار و محتوی انرژی نهاده‌های مصرفی تولید ذرت دانه‌ای به تفکیک سامانهٔ خاک‌ورزی

Table 2- Amounts energy equivalent of input in tillage systems corn production

NT	RT2	RT1	CT	واحد انرژی (Energy Unit)	انرژی نهاده Input energy
75	122	105	173	لیتر (l)	سوخت دیزل (Disel)
7	8	6	15	ساعت (h)	تراکتور (Tractors)
0	0	0	5	ساعت (h)	گاوآهن برگردان‌دار(Moldboard Plow)
0	0	3	3	ساعت (h)	دیسک (Harrow Disc)
0	0	0	1	ساعت (h)	ماله (Land Leveler)
0	3	0	0	ساعت (h)	چیزل پکر (Chisel Packer)
1.5	1.2	1.2	1.2	ساعت (h)	کودپاش(Fertilizer)
0	2	2	2	ساعت (h)	ردیف کار (Row Planter)
3	0	0	0	ساعت (h)	ذرت کار (Corn Planter)
0.7	0.7	0.7	0.7	ساعت (h)	نهرکن(Ditcher)
1	1.5	1.5	2	ساعت (h)	کولتیواتور(Cultivator)
3	1	1	2	ساعت (h)	سم پاش (Sprayer)
3	3	3	3	ساعت (h)	کمباین (Combine)
9100	9100	9100	9100	کیلوگرم (kg)	خشک‌کن ذرت(Corn Dryer)
2000	2000	2000	2200	ساعت (h)	الکتروموتور (Eletrical motor)
3100	3300	3000	3600	کیلووات ساعت (KWh)	برق (Electricity)
1500	1500	1500	1500	ساعت (h)	توربین(Turbines)
290	290	290	190	کیلوگرم (kg)	کود نیتروژن (Nitrogen)
100	100	100	100	کیلوگرم (kg)	کود فسفات (Phosphate)
65	62	65	65	کیلوگرم (kg)	کود پتاسیم (Potassium)
3	3	3	2	کیلوگرم (kg)	سموم (Pesticides)
307	357	408	850	ساعت (h)	نیروی انسانی (Laber)
27	27	27	27	کیلوگرم (kg)	بذرذرت (Seeds corn)
9000	9200	9100	11000	متر مکعب (m^3)	آب (Waterer)

CT: خاک‌ورزی مرسوم، RT_1: دیسک، RT_2: چیزل پکر و NT: بی‌خاک‌ورزی

CT: Conservation Tillage, RT1: Disks, RT2: Chesel paker, NT: No Tillage

جدول ۳- شاخص‌های انرژی ذرت دانه‌ای تحت سامانه‌های خاک‌ورزی

Table 3- Energy indices under tillage systems

شاخص Indecs	واحد Unit	SI (Surface Irrigation)			
		CT (Conservation Tillage)	RT_1 (Disks, RT2)	RT_2 (Chesel paker)	NT (No Tillage)
انرژی ورودیInput energy	مگاژول بر هکتار $MJ.\ ha^{-1}$	71113.4	63257.98	66830.82	61624.12
انرژی خروجیOutput energy	مگاژول بر هکتار $MJ.\ ha^{-1}$	115395	114660	113190	104370
بازده انرژیEnergy ratio	درصد (%)	1.62	1.81	1.69	1.69
افزوده خالص انرژی Net energy gain	مگاژول بر هکتار $MJ.\ ha^{-1}$	44281.6	51402	46359.1	42745.88
بهره‌وری انرژیEnergy productivity	کیلوگرم بر مگاژول $kg.\ MJ^{-1}$	0.11	0.123	0.115	0.115
انرژی ویژه Specific energy	مگاژول بر کیلوگرم $MJ\ kg^{-1}$	9.05	8.1	8.67	8.67
شدت انرژی Energy intensiveness	مگاژول بر مترمربع $MJ\ m^2$	7.11	6.32	6.68	6.16
کارایی مصرف آب Water use efficiency	کیلوگرم بر متر مکعب $kg.\ m^{-3}$	0.71	0.85	0.83	0.8

CT: خاک‌ورزی مرسوم، RT_1: دیسک، RT_2: چیزل پکر، NT: بی‌خاک‌ورزی، SI: آبیاری سطحی.

CT: Conservation Tillage, **RT1:** Disks, **RT2:** Chesel paker, **NT:** No Tillage, **SI:** Surface Irrigation.

شاخص‌های انرژی در تولید ذرت دانه‌ای در سامانه‌های خاک‌ورزی

با استفاده از شاخص‌های انرژی می‌توان سامانه‌های تولید محصولات مختلف هر منطقه را با یکدیگر مقایسه کرد (Vahedi & Younesi-Alamouti, 2017). در این مطالعه، شاخص‌های مهم انرژی در مزارع ذرت دانه‌ای منطقهٔ ارزوئیه شامل انرژی ورودی، انرژی خروجی، بازده انرژی، افزودهٔ خالص انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و کارایی مصرف آب محاسبه شد (جدول ۳). خاک‌ورزی مرسوم بیشترین (۷۱۱۱۳/۴ مگاژول بر هکتار) و بی‌خاک‌ورزی کمترین (۶۱۶۲۴/۱۲ مگاژول بر هکتار) میزان ورودی انرژی را داشتند. یکی از دلایل افزایش مصرف انرژی در سامانهٔ مرسوم، تردد بیش از اندازهٔ ادوات در مزرعه است.

بیشترین بازده انرژی برای تولید ذرت دانه‌ای در منطقهٔ ارزوئیه، در کم‌خاک‌ورزی با دیسک، با میانگین ۱/۸۱، دیده می‌شود. یعنی به ازای هر یک مگاژول انرژی مصرفی معادل ۱/۸۱ مگاژول انرژی تولید شده است. این شاخص معرف تعادل انرژی در سیستم تولیدی و نحوهٔ مصرف انرژی است و هر اندازه حجم انرژی ورودی به سیستم بالاتر رود این شاخص پایین‌تر می‌آید، هرچند کاهش عملکرد به دلایل مختلف نیز موجب کاهش این شاخص خواهد شد. بهشتی‌تبار و همکاران (Beheshti Tabar *et al*, 2010) بازده انرژی برای ذرت دانه‌ای را ۱/۸ گزارش کرده‌اند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. بازده انرژی ذرت دانه‌ای در تایلند ۲/۹ تا ۳/۴ و در یکی از ایالت‌های هندوستان ۴/۸۳ گزارش شده است (Alam & Islam, 2005; Sing *et al*., 2007). محققان کارایی انرژی را در کشت ذرت دانه‌ای در ایالت‌های نبراسکا، جورجیا، اوهایو و ایلینوی به ترتیب ۱/۸، ۲/۱، ۴/۲ و ۴/۶ گزارش کردند (Pimental & Burgess, 1990).

شاخص بهره‌وری انرژی برای همهٔ روش‌های خاک‌ورزی در جدول ۴ آمده است. بیشترین بهره‌وری

انرژی از سامانهٔ کم‌خاک‌ورزی با دیسک با میانگین ۰/۱۲۳ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمده است بدین معنی که ۰/۱۲۳ کیلوگرم دانه به ازای هر واحد انرژی مصرفی حاصل شده است.

انرژی ویژه در سامانه‌های خاک‌ورزی (مرسوم- دیسک- چیزل و بی‌خاک‌ورزی) در منطقه ارزوئیه استان کرمان به ترتیب ۹/۰۵، ۸/۱، ۸/۶۷ و ۸/۶۷ مگاژول بر کیلوگرم محاسبه شده است (جدول ۳). این نسبت برای گیاهان مختلف متفاوت است، مثلاً در ترکیه در کشت گندم ۵/۲۴، پنبه ۱۱/۲۴، ذرت دانه‌ای ۳/۸۸، کنجد ۱۶/۲۱، گوجه‌فرنگی ۱/۱۴ و برای هندوانه ۰/۹۷ مگاژول بر کیلوگرم گزارش شده است (Canakci *et al*., 2005).

در این تحقیق، کارایی مصرف آب بر اساس شاخص عملکرد دانهٔ خشک به دست آمد که به ازای هر واحد آب مصرفی برآورد شده است. این شاخص تحت تأثیر دو فاکتور اصلی یعنی مقدار آب مصرفی و مقدار عملکرد اقتصادی محصول زراعی است. میانگین حجم آب مصرفی برای ذرت دانه‌ای در سامانهٔ آبیاری سطحی ۱۱۰۰۰ مترمکعب در هر هکتار محاسبه شد. بیشترین کارایی مصرف آب از سامانهٔ کم خاک‌ورزی با دیسک با میانگین ۰/۸۵ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب به دست آمده و در سامانه‌های مرسوم، کم‌خاک‌ورزی با چیزل و بی‌خاک‌ورزی کارآیی مصرف آب به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۸۳ و ۰/۸ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب محاسبه شده است (جدول ۳).

یکی از مزیت‌های مهم خاک‌ورزی حفاظتی، کمک به حفظ رطوبت در خاک، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، است که باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود؛ نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در منطقهٔ مورد مطالعه برخی از کشاورزان به دلیل ناآگاهی از مزیت حفظ بقایای گیاهی و یا به دلیل ریسک‌ناپذیری حاضر به کاهش مصرف آب نیستند. بنابراین چنانچه امکان استفاده از سامانهٔ آبیاری هوشمند وجود داشته باشد و مزارع به اندازهٔ نیاز و در زمان لازم آبیاری شوند، میزان مصرف آب کاهش و نتایج مقایسهٔ شاخص‌های انرژی در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بسیار دقیق‌تر و واقعی‌تر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، مهم‌ترینِ نهاده‌های مصرف انرژی برای تولید ذرت دانه‌ای دانه‌ای در منطقهٔ ارزوئیه به ترتیب تأمین آب آبیاری (الکتریسیته- الکتروموتور و آب مصرفی)، کودهای شیمیایی، ماشین‌های کشاورزی و سوخت گازوئیل است. به دلیل افت سطح آب‌های زیرزمینی، تبدیل شدن قنوات و چاه‌های نیمه عمیق به چاه‌های عمیق و همچنین کاهش میزان دبی آب چاه‌های کشاورزی، مصرف الکتریسیته برای پمپاژ آب به طرز قابل توجهی افزایش یافته است، به نحوی‌که بیش از ۴۰ درصد انرژی مصرفی برای تولید ذرت دانه‌ای به تأمین آب آبیاری اختصاص دارد. ذرت دانه‌ای از گیاهان پرمصرف از لحاظ نیاز آبی است و در فصل تابستان کشت می‌شود، بنابراین با معرفی ارقام با فصل رشد کوتاه، ارقام مقاوم به کم‌آبی، استفاده از روش‌های کم‌آبیاری و توسعهٔ روش‌های نوین آبیاری، برقی کردن سایر چاه‌های آب کشاورزی که با موتور دیزل کار می‌کنند و آموزش به کشاورزان به خاموش کردن

موتور پمپ و سامانه های پمپاژ در ساعات اوج مصرف برق، می‌توان به مقدار قابل توجهی در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد.

کودهای شیمیایی و سموم دومین نهادهٔ انرژی‌بر هستند. دلیل اصلی مصرف بالای کود شیمیایی در منطقهٔ مورد مطالعه، پایین بودن سطح آگاهی برخی از کشاورزان در فعالیت‌های کشاورزی و نبود آزمایش خاک است. سهم بالای انرژی کود نشان می‌دهد که کشاورزان از زمان مناسب کوددهی و مقدار استفاده از آن آگاهی کافی ندارند. از میان کودهای شیمیایی، کود نیتروژن‌دار بیشترین سهم انرژی مصرفی را دارد. کشاورزان منطقه برای بالا بردن عملکرد محصول به مصرف زیاد کود شیمیایی خصوصا اوره روی می‌آورند. کود اوره نسبت به سایر کودها با بیش از ۲۰ درصد انرژی مصرفی پرمصرف‌ترین کود است که به دلیل آب‌شویی زیاد، سهم زیادی در آلودگی منابع آب دارد. بنابراین توصیه می‌شود با دنبال کردن این روش‌ها مصرف کود نیتروژن‌دار را کاهش داد: آزمون خاک، مصرف مناسب و منطقی کود، روش مناسب‌تر در مصرف کود (کودآبیاری)، انتخاب زمان مناسب برای مصرف کود و استفاده از کودهای بیولوژیک و کودهای آلی. سومین نهادهٔ انرژی‌بر ادوات و ماشین‌های کشاورزی هستند. برای کاهش تردد ماشین در مزرعه توصیه می‌شود با استفادهٔ توام از کودکار و بذرکار و همچنین استفاده از روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی با حفظ بقایای محصول پیشین، به جای خاک‌ورزی مرسوم، مصرف انرژی در این گلوگاه کاهش داده شود.

چهارمین نهادهٔ پر مصرف گازوئیل است که در سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم ۱۴ درصد مصرف انرژی را دارد. در سایر سامانه‌ها این مقدار مصرف کمتر است: بی‌خاک‌ورزی ۷، کم‌خاک‌ورزی دیسک ۹ و چیزل پکر ۱۰ درصد کل انرژی مصرفی را داشته‌اند. دلیل بالا بودن سهم انرژی سوخت در منطقهٔ مورد مطالعه متناسب نبودن ادوات با تراکتورهای مورد استفاده و بعضاً تنظیم نبودن پمپ انژکتور تراکتورها و تردد بیش از اندازهٔ تراکتور در سامانهٔ خاک‌ورزی مرسوم است. پیشنهاد می‌شود مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی ضرایب هم‌ارز انرژی را برای شرایط اقلیمی متفاوت کشور محاسبه کنند تا نتایج محاسبهٔ انرژی مصرفی برای محصولات مختلف کشاورزی در هر منطقه مستدل‌تر و دقیق‌تر گزارش شود.

مراجع

Afzalinia, S., Dehghanian, S. E., & M. H. Talati. (2009). *Effect of conservation tillage on soil physical properties, fuel consumption, and wheat yield. Proceeding of the 4th Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering.* Oct. 1-3, Rousse, Bulgaria.

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

Almassi, M., Kiani, S., & Loveimi, N. (2008). *Principle of agricultural mechanization*. Jungle Pub. (in Persian)

Amanlou, A., Ghasemi Mobtaker, H., Keyhani, A., Afsahi, A., & Mohammadi, A. (2010). *Investigation of energy consumption of Maize production-Case study: Zanjan province. Proceeding of the 6th National conference on Agriculture Machinery Engineering and Mechanization*. Sep. 15-16. Karaj, Iran. (in Persian)

Arvidson, J. (2010). Energy use efficiency in different tillage system for winter wheat on a clay and silt loam in Sweden. *European Journal of Agronomy, 33*(3): 250-256.

Alam, M. S., & Islam, K. K. (2005). Energy flow in agriculture of Bangladesh. *American Journal of Environmental Science. 1*(3): 213-220.

Anon. (2017). *Crop production in years 2016*. Department of Planning and Economic Information Technology Center, Ministry of Agricultural Jahad. (in Persian)

Banaeian, N., & Zangeneh, M. (2011). Study on energy efficiency in corn production of Iran. *Energy, 36,* 5394-5402.

Bereket Barut, Z., Ertekin, C., & Karaagac H. A. (2011). Tillage effect on energy use corn silage in Mediterranean coastal of Turkey. *Energy, 36*, 5466-5475.

Beheshti Tabar, I., Keyhani, A. R., & Rafiee, S. (2010). Energy balance in Iran's agronomy. *Renewable and Sustanable Energy Reviews, 14*(2): 849-855.

Cochran, G. (1997). *Sampling techniques*. Third Edition. Harvard University. Printed in the United States of America.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., & Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: case study for Antalya region, Turkey. *Energy Conversation Management, 46,* 655-66.

Chen, G., & Baillie, C. (2009). Development of a framework and tool to acses on-farm energy uses of cotton production. *Energy Conversion Management, 50*, 1256-1263.

Gundogmus, E. (2006). Energy use on organic farming: A comparative analysis on organic versus Conventional apricot production on small holding in Turkey. *Energy Consversation Management, 47*, 3351-3359.

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, Sh., Feizi, H., Khorramdel, S., Hassanzadeh Goroteh Tapeh, A., & Haydr Gholinejad, M. (2009). Energy balance in wheat on Mazandaran province. *Pajuhesh and Sazandegi, 58*, 63-65. (in Persian)

Gowdy, J. M., Miller, J. L., & Kherbachi, H. (2006). Energy use in us agriculture. *Southern Journal Agiculture Economics, 19*, 33-41.

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

Hedayatipour, A., & Younesi-Alamouti, M. (2018). The effect of tillage methods on energy consumption and grain yield of irrigated wheat in Arak province. *Agricultural Mechanization and Systems Research. 19(*71): 17-28.

Houshyar, E., H., Azadi, M., Almassi, M., & Sheikh Davoodi. M. J. (2012). Sustainable and efficient energy consumption of corn production in southwest Iran: combination of multi-fuzzy and DEA modeling. *Energy, 44*, 672-681.

Hosseini, S. M., Afzalinia, S., & Mollaee, K. (2016). Energy indices in irrigated wheat production under conservation and conventional tillage and planting methods. *Journal of Agricultural Machinery, 6*(1): 236-249. (in Persian)

Kazemi, B., Tabatabayfar, A., & Borgahi, A. M. (2007). Study of energy consumption required for production of one kg corn at different levels of opration in Darehshahr, region in Elame (M. Sc. Thesis), Tehran University. (in Persian)

Kitani, O. (1999). *CIGR handbook of agricultural engineering*. Vol. 5. Energy and Biomass Engineering. ASAE Pub.

Kiani, S. H., & Houshyar, E. (2012). Energy consumption of rained wheat production in conventional and conservation tillage systems. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *4*, 213-219.

Koocheki, A. (1994). *Efficiency of energy use in agricultural ecosystems*. Ferdowsi University Press, Mashhad. (in Persian)

Lorzadeh, Sh., Mahdavidamghani, A., Enayatgholizadeh, M. R., & Yousefi, M. (2012). Agrochemical input application and energy use efficiency of maize production systems in Dezful, Iran. *Middle-East Journal of Scientific Research, 9*(2): 153-156.

Mousavi-Aval, S., Rafiee, H., & Jafari, S. (2010). Comparative study on water and energy indicators for irrigated and rain-fed canola production systems in Iran. *Journal Of Sustainable Energy And Environment, 1*, 197-201.

Najafinezhad, H., Rashidi, N., & Ravari, S. Z. (2005). Effects of seedbed preparation methods on yield of grain maize and some soil properties in double croping system. *Seed and Plant, 21*, 315-330.

Ozkan, B., Akcaoz, H., & Karadeniz, F. (2004). Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Conversion and Management*, *45*, 1821-1830.

Pimental, D., & Burgess, M. (1990). *Energy input in corn production. In: D. Pimental (Ed.) Handbook of energy utilization in agriculture*. CRC Press, Inc.

Rathke, G. W., Wienhold, B. J., Wilhelm, W. W., & Diepenbrock, W. (2007). Tillage and rotation effect on corn–soybean energy balances in eastern Nebraska. *Soil & Tillage Reserch. 97,* 60-70.

Singh, K., Srinivas, K., & Srivastva, A. K. (2008). Effect of tillage management on energy-use efficiency and economics of soybean (Glycine max) based cropping systems under the rainfed conditions in North-West Himalayan Region. *Soil & Tillage Reserch, 100*, 78-82.

Suda, S., Takahashi, F., & Takeuchi, M. (1989). *Chemical properties of biomass*. Biomass Handbook. Gordon Breach Science Publishers. New York.

Vahedi, A., & Younesi-Alamouti, M. (2017). Determinination of energy indices of broiler units in Alborz province. *Agricultural Mechanization and Systems Researc, 17*(67): 41-54. (in Persian)

Younesi-Alamouti, M., & Sharifi, A. (2012). Investigating and determining of required power, fuel consumption and some soil properties in several tillage methods. *Journal of Agricultural Machinary, 2*(1): 11-18. (in Persian)

Yalcin, H., & E. Cakir. (2006). Tillage effect and energy efficiencies of subsoiling and direct seeding in light soil on yield of second crop corn for silage in western Turkey. *Soil and Tillage Research, 90*, 250-255.

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.22/No.77/Spring2021/P:51-68

Research Paper

Measurement of Energy Indices in Corn Production under Different Tillage Systems

H. Afzaligorouh*, F. Azadshahraki and L. Shafie

*Corresponding Author: M. Sc. Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Resource Research and Education Center, AREEO, Kerman, Iran. Email: hooshangafzali@yahoo.com
Received: 20 July 2019, Accepted: 22 February 2020

Abstract

Minimum tillage and no tillage methods not only increase soil fertility but also reduce energy consumption and production costs. This study was performed to determine the energy indices in corn production under different tillage systems (conventional tillage, minimum tillage by disk, minimum tillage by chisel packer, and no tillage) in corn farms of Orzuiyeh region, Kerman province in 2017. For this purpose, questionnaires were filled by farmers and the necessary data were collected through interviews with them. In this study, energy efficiency, net energy gain, energy productivity, energy intensity and water use efficiency indices were calculated and analyzed. Results of this study showed that the maximum energy efficiency (1.81 MJ / ha) and maximum net energy gain (51402 MJ / ha) were achieved in minimum tillage by disk treatment. Energy productivity index was equal to 0.155, 0.155, 0.123 and 0.105 kg / ha for conventional tillage, minimum tillage by disk, minimum tillage by chisel packer and no tillage respectively. Maximum energy intensity (9 MJ/kg) was found in conventional tillage and minimum energy intensity (8.1 MJ/kg) was calculated in minimum tillage by disk treatment. Maximum water use efficiency (0.85 kg/m^3) was found in the treatment of minimum tillage by disk. The results of this study also indicated that in corn cultivation in Orzuiyeh region, the maximum amount of energy consumptions occur in water supply, fertilizer application, machinery equipment and fuel respectively. Modification of irrigation methods, optimation of fertilizer consumption and using minimum tillage methods may improve energy ratio and increase farmer's income in corn production in Orzuiyeh region.

Keywords: Conservation Tillage, Energy Productivity, Irrigation, Output and Input Energy, Water Use Efficiency

© 2021 Agricultural Mehanization and Systems Research, Karaj, Iran.

This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)