ارزیابی انرژی موردنیاز تولید ذرت تحت سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و آبیاری

هوشنگ افضلی گروه[1*]، محمدرضا شفیعی[2]

۱. پژوهشگر موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان
hooshangafzali@yahoo.com
۲. عضو هیئت‌علمی فنی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای شهید چمران کرمان

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی شاخص‌های انرژی ذرت تحت روش‌های مختلف خاک‌ورزی (مرسوم، کم‌خاک‌ورزی با دیسک، کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر، بی‌خاک‌ورزی) و آبیاری (سطحی و تیپ) در مزارع ذرت منطقه ارزوئیه کرمان انجام شد. داده‌ها از طریق مصاحبه با کشاورزان و یادداشت‌برداری از عملیات خاک‌ورزی و آبیاری جمع‌آوری شد. در این بررسی شاخص‌های بازده انرژی، افزوده خالص انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و کارایی مصرف آب محاسبه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که بیشترین بازده انرژی از کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر در دو سامانه آبیاری با میانگین ۱/۶ و ۱/۴ حاصل شد. کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر در هر دو سامانه آبیاری بیشترین افزوده خالص انرژی را به ترتیب با میانگین ۴۲۶۷۶/۶ و ۳۱۴۸۶/۸ مگاژول بر هکتار به خود اختصاص داد. شاخص بهره‌وری انرژی تحت سامانه‌های خاک‌ورزی در آبیاری سطحی ۰/۱ و در آبیاری تیپ ۰/۰۹ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمد. بیشترین انرژی ویژه و شدت انرژی در دو سیستم آبیاری سطحی و تیپ به خاک‌ورزی مرسوم با میانگین ۷/۳ و ۶/۸ مگاژول بر کیلوگرم و ۱۰/۶ و ۹/۷ مگاژول بر مترمربع اختصاص داشت. بیشترین کارایی مصرف آب در هر دو روش آبیاری از کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر با میانگین ۰/۶۵ و ۰/۸۹ کیلوگرم بر متر مکعب حاصل شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که در زراعت ذرت در این منطقه به ترتیب تأمین آب، کود، ماشین و سوخت، بیشترین انرژی مصرفی را داشتند. اصلاح روش‌های آبیاری، مصرف بهینه کود و استفاده از سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی برای تولید ذرت می‌تواند در بهبود نسبت انرژی و افزایش درآمد کشاورزان مؤثر باشد.

کلمات کلیدی: *آبیاری، انرژی ورودی و خروجی، خاک‌ورزی، ذرت دانه‌ای، شاخص‌های انرژی*

نویسنده مسئول: hooshangafzali@yahoo.com

ارزیابی انرژی موردنیاز تولید ذرت تحت سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و آبیاری

مقدمه:

سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای کشور در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ بیش از ۱۵۸ هزار هکتار بود. بیشترین سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای کشور به استان خوزستان، کرمان، کرمانشاه و فارس به ترتیب با میانگین ۵۱، ۲۵، ۱۶ و ۱۴ هزار هکتار اختصاص یافت. استان کرمان با بیش از ۱۹۰ هزار تن تولید ذرت دانه‌ای در کشور جایگاه دوم را داشت (Anonymous, 2016).

بخش کشاورزی مهم‌ترین بخش تولیدکننده مواد غذایی کشور، نه‌تنها مصرف‌کننده انرژی بلکه مهم‌ترین عرضه‌کننده انرژی نیز هست. این بخش ازیک‌طرف با محدودیت منابع تولید روبروست و از سوی دیگر تأمین‌کننده امنیت غذایی جمعیت در حال رشد است، لذا باید توازنی بین جریان برداشت و بهره‌برداری از منابع و تولید محصولات کشاورزی ایجاد شود. درواقع باید روند استفاده از منابع تولید به‌گونه‌ای باشد که امنیت غذایی نسل آینده تهدید نشود (Vahedi and Younesi, 2017). هرگونه افزایش در تولیدات کشاورزی به مقدار انرژی مصرفی و مدیریت مزرعه بستگی دارد. خاک‌ورزی و مدیریت نهاده‌های کشاورزی فاکتور مهمی در تولید ذرت به شمار می‌روند و بهینه‌سازی این فاکتورها می‌تواند تولید ذرت را در هر منطقه بهبود بخشد (Gowdy, 2006). از چالش‌های دیگر بخش کشاورزی عدم استفاده بهینه از منابع انرژی، ازجمله آب می‌باشد که منجر به کاهش بهره‌وری استفاده از این منابع خواهد شد، آب موردنیاز برای آبیاری و انرژی مصرفی برای پمپاژ و انتقال آن به مزرعه یکی از نهاده‌های اساسی و انرژی‌بر در کشت آبی تولید محصولات زراعی است که حجم بالایی از انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد (Mousavi- Aval et al., 2010). میزان انرژی ورودی و خروجی دو عامل مهم برای تعیین کارایی انرژی در کشاورزی است و در محصولات مختلف و نوع مدیریت بسیار متفاوت است (Rathke et al., 2007). میزان انرژی ورودی کمتر در سامانه‌های زراعی، باعث افزایش راندمان انرژی و کاهش گازهای گلخانه‌ای نسبت به سامانه‌های انرژی پرنهاده می‌گردد (Ghorbani et al., 2009). بررسی انرژی مصرفی برای تولید ذرت در شهرستان دره شهر نشان داد که عملیات آبیاری ۴۱ درصد از کل انرژی مصرفی و سموم شیمیایی ۱۴ درصد انرژی را به خود اختصاص داده است (Kazemi et al., 2007). در تحقیقات دیگری محققین، کودهای شیمیایی و سوخت دیزل را به‌عنوان یک منبع بزرگ مصرف انرژی در تولید ذرت علوفه معرفی کردند (Amanlou et al., 2010). در ترکیه اثر شخم در انرژی مصرفی برای تولید ذرت موردمطالعه قرار گرفت و بیشترین بازده انرژی ۸/۷۸ و بهره‌وری انرژی ۲/۱۲ از کم‌خاک‌ورزی حاصل شد (Bereket Barut et al., 2011). در بررسی میزان انرژی مصرفی برای تولید ذرت در استرالیا، آب آبیاری ۴۰ تا ۶۰ درصد انرژی مصرفی را به خود اختصاص داد (Chen and Bailie, 2009). یونسی و شریفی (Younesi-Alamouti & Sharifi, 2012) تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر مصرف سوخت را ارزیابی و گزارش کردند که میزان سوخت در گاوآهن مرکب حدود ۳۷ لیتر در هکتار و درروش مرسوم تقریباً ۵۸ لیتر در هکتار است. ارزیابی شاخص‌های انرژی تولید گندم تحت سیستم‌های خاک‌ورزی و کشت حفاظتی در شهرستان اقلید استان فارس نشان داد که تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات بیشترین مقدار نسبت انرژی (۱/۴۶) و بیشترین بهره‌وری انرژی با ۰/۱۱۵ کیلوگرم بر مگاژول را به خود اختصاص داد و کمترین انرژی خالص با ۴۱۳۸۸ مگاژول به تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی کار همدانی تعلق گرفت. مقایسه شاخص‌های انرژی تولید گندم با روش‌های خاک‌ورزی و کشت مرسوم در شهرستان اقلید نشان بیشترین بهره‌وری انرژی از تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات (۰/۱۱۵ کیلوگرم بر مگاژول) و کمترین بهره‌وری (۰/۱۱۰ کیلوگرم بر مگاژول) از دو تیمار خاک‌ورزی

مرسوم حاصل شد (Hosseini et al., 2016). نتایج تحقیق اثر خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت دانه‌ای در غرب ترکیه نشان داد که بیشترین و کمترین میزان مصرف سوخت از خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب با میانگین ۶۰/۵ و ۷/۵ لیتر در (Yalcin and Cakir, 2006). بر اساس تحقیقات انجام‌شده 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 به‌جای خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد (Chen and Bailie, 2009). نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از روش کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، مصرف سوخت را ۱۲/۴ 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 روش مرسوم نیز گزارش‌شده است (Hobbs et al., 1997). در یک تحقیق در شهرستان ایذه کل انرژی ورودی در مزارع ذرت ۳۴۶۴۰ مگاژول در هکتار و کل انرژی خروجی را ۱۰۲۹۷۳ مگاژول در هکتار برآورد گردید و بیشترین سهم انرژی ورودی به ترتیب شامل کود نیتروژن، سوخت و مصرف آب برای آبیاری به ترتیب با ۲۰/۸۰، ۳۱/۶، ۱۳/۳ درصد گزارش شد (Lorzadegan et al., 2012). با توجه به بررسی منابع درزمینهٔ مصرف انرژی در تولید ذرت مشخص شد نتایج متفاوتی ازنظر مصرف انرژی در نقاط مختلف ایران و دنیا حاصل‌شده است.

با توجه به اینکه شهرستان ارزوئیه قطب تولید ذرت در استان کرمان می‌باشد (Najafinezhad et al. 2005) تاکنون تحقیق جامعی درزمینهٔ میزان مصرف انرژی برای تولید این محصول انجام‌نشده است. لذا این تحقیق باهدف بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و آبیاری بر انرژی ورودی و شاخص‌های انرژی در تولید ذرت دانه‌ای در شهرستان ارزوئیه استان کرمان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در منطقه ارزوئیه واقع در ۲۷۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان محدوده جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی با ارتفاع متوسط ۱۲۰۰ متر از سطح دریا در مزرعه کشاورزان پیشرو انجام شد. این منطقه دارای اقلیم گرم و خشک می‌باشد. تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سردی دارد. به دلیل حاصلخیزی خاک منطقه، این شهرستان یکی از قطب‌های کشاورزی استان کرمان محسوب می‌شود. تعداد کشاورزان ذرت کار بیش از ۳۵۰۰ نفر و سطح زیر کشت ذرت در این شهرستان ۱۲۰۰۰ هکتار است که بیش از ۵۰۰۰ هکتار به روش حفاظتی کشت می‌شود. همچنین بیش از ۱۵۰۰ هکتار از اراضی ذرت کاری این شهرستان به سیستم آبیاری تیپ مجهز است.

اطلاعات موردنیاز این تحقیق از طریق مراجعه حضوری و تکمیل پرسش‌نامه از ذرت کاران شهرستان ارزوئیه تهیه شد که شامل اطلاعات مربوط به بهره‌بردار (نوع عملیات کشاورزی، نوع مالکیت، سطح زیر کشت و ...)، عملیات مختلف ماشینی (نوع عملیات، نحوه انجام 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 موتورپمپ، تعداد ساعت آبیاری در هکتار و ..) و درنهایت اطلاعات مربوط به میزان نهاده‌های مصرفی و کارگر به‌کاررفته در هکتار بود. برای تعیین روایی پرسشنامه قبل از تکمیل پرسشنامه با صاحب‌نظران و کارشناسان منطقه در اداره جهاد کشاورزی، مراکز خدمات کشاورزی و همچنین مهندسین ناظر ذرت، مصاحبه‌هایی انجام شد. پایایی پرسشنامه نیز با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ محاسبه گردید.

کشت ذرت در منطقه موردمطالعه به سه روش انجام می‌شود. روش مرسوم شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دو بار دیسک، لولر، تسطیح و نهر کشی و سپس کاشت ذرت (CT)[1]؛ کم خاک‌ورزی با دو بار دیسک و کشت محصول (RT1)[2]؛ کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر و کشت محصول (RT_2) و سامانه بی خاک‌ورزی (NT)[3] ؛ همچنین سامانه‌های آبیاری موردمطالعه شامل؛ آبیاری سطحی (FI)[4] و قطره‌ای تیپ (TI)[5] بود. به علت گسترده بودن جامعه آماری موردمطالعه در این تحقیق نمونه‌برداری انجام شد. در این مطالعه، از روش نمونه‌گیری سیستماتیک استفاده‌شده است. برای تخمین انحراف معیار جامعه یک نمونه از ۳۰ مزرعه از بین روستاهای منطقه به‌طور تصادفی انتخاب شد. سپس انرژی به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم موردبررسی در این تحقیق انتخاب و انحراف معیار آن به دست آمد. حجم نمونه برای جمع‌آوری اطلاعات از کشاورزان ذرت کار برابر با ۱۳۸ نمونه برآورد گردید که از رابطه ۱ محاسبه شد (Cochran, 1997). پس از انجام مصاحبه با کشاورزان و تکمیل پرسشنامه‌ها، داده‌های خام استخراج‌شده در نرم‌افزار Excel مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و نمودارها ترسیم گردید.

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

که در آن: n حجم نمونه (تعداد مزارع ذرت موردمطالعه)، N اندازه جامعه آماری (تعداد مزارع ذرت موجود در منطقه)، t ضریب اطمینان قابل‌قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت موردنظر از جدول t استیودنت به دست می‌آید، s^2 برآورد واریانس صفت موردمطالعه در جامعه که در اینجا واریانس نسبت انرژی در منطقه موردمطالعه است و d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) می‌باشد. برای محاسبه مقدار انرژی مصرفی، کل نهاده‌های ورودی و خروجی محاسبه و سپس با استفاده از هم‌ارز انرژی معادل خود (جدول ۱) و فرمول‌های استخراج‌شده از منابع استفاده شد. انرژی ورودی به سامانه تولید ذرت به دو بخش انرژی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم شد (Alam et al., 2005). انرژی ورودی مستقیم شامل سوخت، الکتریسیته، آب آبیاری، نیروی انسانی و انرژی غیرمستقیم شامل انرژی مصرفی در تولید کودهای شیمیایی و آلی، سموم، ماشین‌آلات و بذر مصرفی بود (Banaeian and Zangeneh, 2011).

انرژی ورودی: مقدار انرژی موردنیاز برای تولید محصول کشاورزی در واحد سطح است و معمولاً برحسب کیلوکالری بر هکتار یا مگاژول بر هکتار بیان می‌شود.

انرژی خروجی: مقدار انرژی محصول که شامل انرژی متابولیکی موجود در دانه است و برحسب مگاژول بر هکتار بیان می‌شود.

نسبت انرژی: نسبت کل انرژی خروجی (تولیدی) سامانه به‌کل انرژی ورودی (نهاده‌ها) است که از رابطه ۲ محاسبه شد (Singh et al., 2008).

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

1. Conventional Tillage
2 . Reduced Tillage
3 . No Tillage
4 . Furrow Irrigation
5 . Tape Irrigation

افزوده خالص انرژی: تفاضل انرژی خالص خروجی و انرژی ورودی به سامانه است که برحسب مگاژول بر هکتار سنجیده و از رابطه ۳ محاسبه شد (Kitani,1999)

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

بهره‌وری انرژی: به مقدار محصول تولیدشده به ازای هر واحد انرژی مصرف‌شده، بهره‌وری انرژی گویند، بهره‌وری انرژی برحسب کیلوگرم بر مگاژول و از رابطه ۴ محاسبه شد (Ozakan et al., 2004).

$$\text{بهره وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد محصول}}{\text{کل انرژی ورودی}} \left(\frac{Kg}{MJ}\right) \quad (۴)$$

انرژی ویژه: مقدار انرژی مصرفی برای تولید یک واحد جرم محصول است که برحسب مگاژول بر کیلوگرم بیان‌شده و از رابطه ۵ محاسبه شد (Kitani,1999).

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

شدت انرژی: نسبت کل انرژی ورودی به سطح زیر کشت محصول که برحسب مگاژول بر مترمربع بیان‌شده و از رابطه ۶ محاسبه شد (Kazemi and zare, 2014).

$$\text{شدت انرژی} = \frac{\text{کل انرژی ورودی}}{\text{واحد سطح}} \quad (۶)$$

انرژی مصرفی ناشی از کاربرد ماشین: انرژی مصرفی ناشی از کاربرد ماشین شامل انرژی کارگری، انرژی سوخت مصرفی و انرژی تجهیزات مصرف‌شده در ساخت ماشین است.

انرژی سوخت مصرفی: در این مطالعه انرژی سوخت مصرفی عملیات زراعی شامل انرژی موردنیاز مراحل شخم، دیسک، تسطیح، بذرکار، کودپاشی و سم‌پاشی می‌باشد، برای تخمین سوخت مصرفی از پرسشنامه استفاده شد. پرسشنامه‌ها توسط رانندگان تراکتور که اکثراً خود کشاورزان بودند تکمیل شد. برای افزایش اطمینان، به‌طور تصادفی در چند عملیات میزان سوخت مصرفی در هکتار به روش باک پر اندازه‌گیری و تطبیق داده شد. قبل از عملیات موردنظر باک تراکتور از گازوئیل پر شد و پس از اتمام سطح مشخصی از عملیات کشاورزی، مقدار گازوئیل مصرف‌شده برای آن سطح و درنتیجه میزان سوخت مصرفی در هکتار محاسبه شد (جدول ۲ و۳). سپس برای محاسبه انرژی سوخت مصرفی، از جداول هم‌ارز انرژی (جدول ۱) و رابطه ۷ استفاده شد.

$$E_P = Q_i \times E_i \quad (۷)$$

که در آن: Ep انرژی سوخت برحسب مگاژول بر هکتار، Qi مقدار سوخت مصرف‌شده برحسب لیتر بر هکتار و Ei انرژی معادل هر واحد سوخت برحسب مگاژول بر لیتر.

انرژی ماشین: برای محاسبه مقدار انرژی ادوات و ماشین‌ها در هکتار وزن، طول عمر و ظرفیت مزرعه‌ای برحسب هکتار در ساعت مشخص گردید. برای محاسبه انرژی ماشین از رابطه ۸ استفاده شد (koocheki, 1994).

$$E_m = E\frac{M}{T} \times C_a \quad (۸)$$

که در آن: Em انرژی مصرفی ناشی از کاربرد تراکتور و ادوات برحسب مگاژول بر هکتار، E انرژی مصرفی برای تولید واحد وزن ماشین برحسب مگاژول بر کیلوگرم، M وزن ماشین برحسب کیلوگرم، T عمر مفید هر ماشین برحسب ساعت و Ca ظرفیت مزرعه‌ای هر یک از ادوات که برحسب هکتار در ساعت که از رابطه ۹ محاسبه شد (Almassi et al., 2008).

$$C_a = \frac{v.w.\eta}{10} \quad (۹)$$

که در آن: Ca ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ماشین (هکتار در ساعت)، v سرعت حرکت ماشین (کیلومتر بر ساعت)، w عرض کار دستگاه (متر)، و η راندمان مزرعه‌ای ماشین است.

انرژی لازم برای آبیاری: برای محاسبه میزان انرژی مصرفی آب در تولید ذرت از دو روش آبیاری سطحی و آبیاری تیپ استفاده شد. اطلاعات موردنیاز از طریق پرسشنامه، شامل دبی چاه، قدرت الکتروپمپ، فشار بار بر روی سیستم آبیاری تیپ و راندمان پمپ جمع‌آوری شد. با توجه به برقی بودن چاه‌ها، میزان انرژی مصرفی بر اساس مدت‌زمان کارکرد الکتروپمپ برحسب ساعت در هکتار به دست آمد و میزان مصرف انرژی در بخش آبیاری بر اساس میزان مصرف الکتریسیته در هر نوبت آبیاری محاسبه شد.

انرژی مصرفی برای آبیاری ذرت، از مجموع انرژی مستقیم و غیرمستقیم به دست آمد. انرژی مستقیم؛ انرژی لازم برای بالا آوردن و تحت‌فشار قرار دادن آب موردنیاز در هر هکتار بود که از رابطه ۱۰ محاسبه شد (Kitani et al., 1999).

$$DE = \frac{Q.\rho.g.h}{\eta 1.\eta 2} \times C_a \quad (۱۰)$$

که در آن: DE انرژی مستقیم برحسب ژول بر هکتار، ρ چگالی آب برحسب کیلوگرم بر متر مکعب، g شتاب جاذبه برحسب متر بر مجذور ثانیه، Q حجم کل آب موردنیاز محصول در یک فصل زراعی برحسب متر مکعب بر هکتار، h هد دینامیکی چاه برحسب متر، $\eta 1$ راندمان پمپ برحسب درصد و $\eta 2$ بازده کل تبدیل انرژی و توان می‌باشد.

برای محاسبه حجم آب مصرفی در آبیاری تیپ در تعدادی از مزارع، میانگین دبی چند قطره‌چکان در واحد سطح اندازه‌گیری و در هکتار محاسبه و صحت آن با اظهارات کشاورزان تطبیق داده شد، دور آبیاری در این روش در منطقه موردمطالعه میانگین ۶ روز در میان بود. همچنین میانگین حجم آب مصرفی در هر دور آبیاری سطحی در چند مزرعه به‌وسیله پارشال فلوم اندازه‌گیری

شد. با توجه به مشخص بودن دور آبیاری ۸ روز در میان و تعداد دفعات آبیاری مزرعه از مرحله کاشت تا برداشت، حجم آب مصرف‌شده در هر هکتار برحسب متر مکعب در هکتار محاسبه شد. سپس با ضرب کردن میزان آب مصرف‌شده در هر هکتار در هم‌ارز انرژی آن، میزان انرژی آب مصرفی برحسب مگاژول بر هکتار محاسبه شد.

کارایی مصرف آب: از نسبت بین عملکرد برحسب کیلوگرم و آب مصرفی برحسب متر مکعب و از رابطه ۱۱ محاسبه شد.

$$\text{کارایی مصرف آب} = \frac{\text{عملکرد}}{\text{حجم آب مصرفی}} \qquad (۱۱)$$

انرژی غیرمستقیم؛ شامل مواد خام، ساخت و انتقال عواملی که در آبیاری دخالت داشت مانند نوار تیپ می‌باشد که انرژی مصرف‌شده در این قسمت با توجه به طول عمر تأسیسات تعیین می‌گردد. در این تحقیق انرژی غیرمستقیم ۲۰ درصد انرژی مستقیم در نظر گرفته شد (Kitani et al., 1999).

انرژی غیرمستقیم؛ بذر، کود و سم: میزان مصرف هرکدام از نهاده بذر، کود و سموم در هر یک از سامانه‌ها که بر اساس اظهارات کشاورزان در پرسشنامه تعیین شد. سپس برای محاسبه انرژی غیرمستقیم، از جداول هم‌ارز انرژی (جدول ۱) و رابطه ۱۲ استفاده شد.

$$w_s = W_i \times E_i \qquad (۱۲)$$

که در آن: W_s انرژی نهاده در هکتار برحسب مگاژول بر هکتار، W_i وزن نهاده برحسب کیلوگرم بر هکتار و E_i انرژی موجود در هر کیلوگرم نهاده برحسب مگاژول بر کیلوگرم.

انرژی نیروی انسانی (کارگری): انرژی مصرفی نیروی انسانی، با توجه به اطلاعات موجود در پرسشنامه، تعداد کارگر موردنیاز برای هر عملیات، همچنین زمان انجام عملیات توسط هر کارگر مشخص شد. سپس هم‌ارز انرژی نیروی انسانی در تعداد نفرات ضرب شده و انرژی مصرفی برحسب ساعت محاسبه شد. سپس تعداد ساعات کاری هر نفر تعیین‌شده و درنهایت انرژی مصرفی برای نیروی انسانی از رابطه ۱۳ محاسبه شد.

$$E_l = W_l \times E_i \qquad (۱۳)$$

که در آن: El انرژی کارگری برحسب مگاژول بر هکتار، Wl ساعت کار کارگری برحسب ساعت بر هکتار و Ei انرژی موجود به ازای هر کارگر برحسب مگاژول بر ساعت.

جدول۱- هم‌ارز انرژی نهاده‌های مصرف‌شده در تولید ذرت دانه‌ای

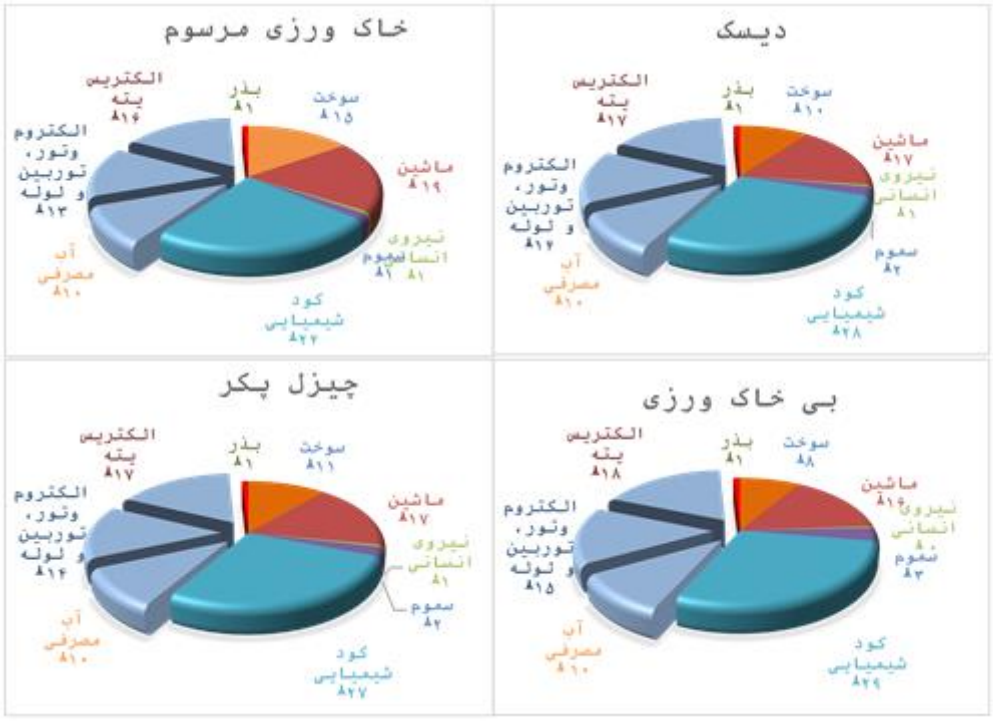
نهاده	واحد	انرژی واحد (مگا ژول)	منبع
کارگر	روز	۱/۹۶	(Rathke et al., 2007)
ذرت	کیلوگرم	۱۴/۷	(Houshyar et al., 2012)
کود ازت (N)	کیلوگرم	۶۰/۶	(Akcaoz et al., 2009)
کود فسفر (P_2O_5)	کیلوگرم	۱۱/۹۶	(Akcaoz et al., 2009)
کود پتاس (K_2o)	کیلوگرم	۶/۷	(Akcaoz et al., 2009)
حشره‌کش	کیلوگرم	۲۳۷	(Rathke et al., 2007)
علف‌کش	کیلوگرم	۲۷۸	(Rathke et al., 2007)
تراکتور	کیلوگرم	۱۵۸/۳	(Bereket Barut et al., 2011)
گاوآهن برگردان	کیلوگرم	۱۸۰	(Kitani, 1999)
دیسک	کیلوگرم	۱۴۹	(Kitani, 1999)
کارندِ	کیلوگرم	۱۳۳	(Kitani, 1999)
کودپاش	کیلوگرم	۱۲۹	(Kitani, 1999)
لولر	کیلوگرم	۱۶/۳	(Kitani, 1999)
نهرکن	کیلوگرم	۱۳۳	(Kitani, 1999)
مرز کش	کیلوگرم	۱۳۳	(Kitani, 1999)
کولتیواتور	کیلوگرم	۱۳۳	(Kitani, 1999)
سم‌پاش	کیلوگرم	۱۲۹	(Kitani, 1999)
خشک‌کن	کیلوگرم	۰/۸۶	(Kitani, 1999)
الکتروموتور	ساعت	۲/۳	(Kitani, 1999)
توربین و لوله	ساعت	۱/۵۶	(Kitani, 1999)
کمباین	کیلوگرم	۲۶۳	(Kitani, 1999)
گازوییل	لیتر	۵۶/۱	(Bereket Barut et al., 2011)
الکتریسیته	کیلووات ساعت	۳/۶	(Gundogmus, 2006)
آب	متر مکعب	۰/۶۳	(Hatirli & Ozkan, 2005)

نتایج و بحث:

در بررسی میزان انرژی مصرفی تولید ذرت در منطقه ارزوئیه، مقادیر ورودی و خروجی انرژی و شاخص‌های آن در جداول ۲، ۳ و ۴ آورده شده است.

سهم انرژی مصرفی نهاده‌ها در تولید ذرت:

بررسی میزان انرژی مصرفی تولید ذرت دانه‌ای به تفکیک برای هر نهاده (جدول ۲) نشان می‌دهد که تأمین آب آبیاری تقریباً بیش از ۴۰ درصد کل انرژی مصرف‌شده را به خود اختصاص داده است. اگرچه سهم انرژی مصرفی آب به‌تنهایی ۱۰ درصد کل انرژی بود، اما با توجه به این‌که آب موردنیاز از پمپاژ چاه تأمین می‌شد، هزینه تجمعی حاصل از توربین و لوله، برق مصرفی و میزان آب مصرفی به‌عنوان انرژی تأمین آب آبیاری محاسبه شد. لذا مهم‌ترین عامل انرژی‌بر برای تولید ذرت در منطقه، تأمین آب آبیاری بود، به‌طوری‌که مصرف انرژی، برای تأمین آب با روش آبیاری سطحی به ترتیب برای خاک‌ورزی مرسوم ۳۹، دیسک و چیزل هرکدام ۴۱ و بی‌خاک‌ورزی ۴۳ درصد کل انرژی بود که دراین‌ارتباط مصرف زیاد انرژی الکتریسیته به‌واسطه پمپاژ آب از چاه‌ها مشهود است (شکل ۱). دلیل افزایش میزان انرژی آب مصرفی در سامانه بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی نسبت به روش مرسوم به حجم یکسان آب مصرفی در این سامانه‌ها و عدم اطلاع کافی برخی کشاورزان از مزایای خاک‌ورزی حفاظتی است. مشابه این نتایج در مطالعات سایر محققین نیز به چشم می‌خورد. برای تولید ذرت در استرالیا، انرژی تأمین آب آبیاری در سامانه‌های مختلف ۴۰ تا ۶۰ درصد کل انرژی مصرفی گزارش‌شده است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (Chen and Bailie, 2009).



شکل ۱: سهم هر یک از نهاده‌ها در تولید ذرت تحت آبیاری سطحی

جدول ۲: میانگین مقادیر ورودی نهاده‌ها برای تولید ذرت به تفکیک روش خاک‌ورزی در آبیاری سطحی برای یک هکتار

نوع نهاده	واحد	CT	RT_1	RT_2	ZT
گازوئیل	لیتر در هکتار	۱۹۸	۱۵۰	۱۶۰	۱۳۰
تراکتور	ساعت	۱۴/۵	۱۰/۲	۱۰/۵	۹/۲
گاوآهن برگردان‌دار	ساعت	۶	۰	۰	۰
دیسک	ساعت	۴	۴	۰	۰
لولر	ساعت	۲	۰	۰	۰
چیزل پکر	ساعت	۰	۰	۳	۰
کودپاش	ساعت	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۵
ردیف‌کار	ساعت	۲	۱	۰	۰
کشت مستقیم	ساعت	۰	۱	۱	۳
نهر کن	ساعت	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷
مرز کش	ساعت	۰/۷	۰/۸	۰/۸	۰/۸
کولتیواتور	ساعت	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۰
سم‌پاش	ساعت	۲	۲	۲	۲
کمباین	ساعت	۳	۳	۳	۳
خشک‌کن	کیلوگرم	۹۱۰۰	۹۱۰۰	۹۱۰۰	۹۱۰۰
الکتروموتور	ساعت	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰
الکتریسیته	کیلووات	۳۳۰۰	۳۳۰۰	۳۳۰۰	۳۳۰۰
توربین و لوله	ساعت	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰
کود نیتروژن	کیلوگرم	۲۶۰	۲۹۰	۲۹۰	۲۹۰
کود فسفات	کیلوگرم	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
کود پتاسیم	کیلوگرم	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵
سموم	کیلوگرم	۲/۵	۳	۳	۳
نیروی انسانی	ساعت	۲۱۰	۱۹۵	۱۹۵	۱۹۵
بذر هیبرید	کیلوگرم	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷
آب آبیاری	مترمکعب	۱۱۳۰۰	۱۱۳۰۰	۱۱۳۰۰	۱۱۳۰۰

CT: خاک‌ورزی مرسوم، RT_1: کم‌خاک‌ورزی با دیسک، RT_2: کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر و ZT: بی‌خاک‌ورزی

جدول ۳: میانگین مقادیر ورودی نهادها برای تولید ذرت به تفکیک روش خاک‌ورزی در آبیاری تیپ در یک هکتار

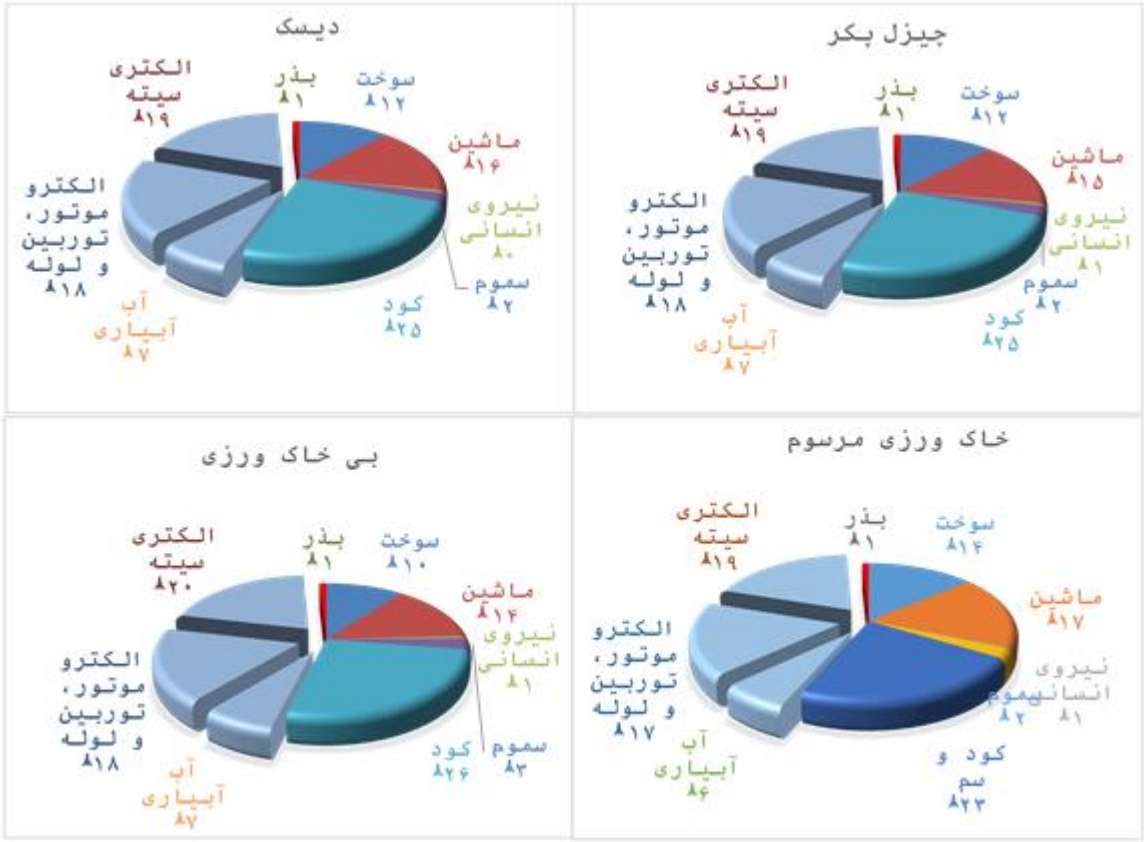
نوع نهاده	واحد	CT	RT1	RT2	ZT
گازوئیل	لیتر	۱۹۵	۱۵۸	۱۷۰	۱۳۸
تراکتور	ساعت	۱۵	۱۰/۵	۱۱	۹/۵
گاوآهن برگردان‌دار	ساعت	۵/۵	۰	۰	۰
دیسک	ساعت	۲	۴/۲	۰	۰
لولر	ساعت	۲	۰	۰	۰
چیزل پکر	ساعت	۰	۰	۳	۰
کودپاش	ساعت	۱/۳	۱/۳	۱/۵	۱/۷
ردیف‌کار	ساعت	۲	۱	۰	۰
کشت مستقیم	ساعت	۰	۱	۱	۳/۲
نهر کن	ساعت	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۷
مرز کش	ساعت	۱/۶	۰/۸	۱	۰/۸
کولتیواتور	ساعت	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۰
سم‌پاش	ساعت	۲	۲	۲	۲
کمباین	ساعت	۳	۳	۳	۳
خشک‌کن	کیلوگرم	۹۱۰۰	۹۱۰۰	۹۱۰۰	۹۱۰۰
الکتروموتور	ساعت	۳۵۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰
الکتریسیته	کیلووات	۳۵۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰
توربین و لوله	ساعت	۴۱۰۰	۴۱۰۰	۴۱۰۰	۴۱۰۰
کود نیتروژن	کیلوگرم	۲۹۰	۲۹۰	۲۹۰	۲۹۰
کود فسفات	کیلوگرم	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
کود پتاسیم	کیلوگرم	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵
سموم	کیلوگرم	۳	۳	۳	۳
نیروی انسانی	ساعت	۱۹۵	۱۹۵	۱۹۵	۱۹۵
بذر هیبرید	کیلوگرم	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷
آب آبیاری	مترمکعب	۸۱۰۰	۸۱۰۰	۸۱۰۰	۸۱۰۰

CT: خاک‌ورزی مرسوم، RT_1: کم‌خاک‌ورزی با دیسک، RT_2: کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر و ZT: بی‌خاک‌ورزی

میزان مصرف انرژی برای تأمین آب آبیاری با روش تیپ به ترتیب برای خاک‌ورزی مرسوم ۴۲، کم‌خاک‌ورزی با دیسک و چیزل هرکدام ۴۴ و بی‌خاک‌ورزی ۴۵ درصد کل انرژی ورودی بود، در این روش مصرف برق به‌واسطه پمپاژ آب از چاه به استخر و از استخر به سامانه قطره‌ای باعث افزایش سهم انرژی نسبت به روش دیگر شده است (شکل ۲). اما مقایسه میزان مصرف آب در سامانه آبیاری سطحی و تیپ نشان می‌دهد که میانگین آب مصرفی در این دو روش به ترتیب ۱۱۳۰۰ و ۸۱۰۰ متر مکعب محاسبه گردید، که کاهش ۲۸ درصدی میزان مصرف آب در روش تیپ نسبت به سطحی حاصل شد (جداول ۲ و ۳). روش آبیاری سطحی و استفاده از انهار سنتی و بدون پوشش در انتقال آب آبیاری، میزان آب

مصرفی را افزایش داده است. دور آبیاری در روش سطحی ۸ و در آبیاری تیپ ۴ روز در میان بود (جدول ۲). اما به دلیل کاهش دور آبیاری در آبیاری تیپ میزان برق مصرفی نسبت به روش سطحی افزایش نشان داد.

دومین عامل انرژی‌بر برای تولید ذرت در منطقه کود و سموم شیمیایی بودند. شکل ۱ سهم بالای کود شیمیایی را در هر چهار روش خاک‌ورزی در آبیاری مرسوم نشان می‌دهد. مصرف کود و سموم شیمیایی در روش خاک‌ورزی مرسوم ۲۵ درصد کل انرژی مصرفی بود. همچنین در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، کود شیمیایی تقریباً ۲۷ درصد از انرژی را به خود اختصاص داده است. شکل ۲ میزان انرژی سم و کود شیمیایی در چهار روش خاک‌ورزی تحت آبیاری قطره‌ای نواری را نشان می‌دهد. خاک-ورزی مرسوم با ۲۵ درصد سهم انرژی مصرفی سم و کود از کل انرژی ورودی، کمترین و سایر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی با ۲۷ درصد، بیشترین میزان مصرف انرژی سم و کود را داشتند.



شکل ۲: سهم هر یک از نهاده‌ها در تولید ذرت تحت آبیاری تیپ

افزایش مصرف کود و سم در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم به دلیل مصرف بیشتر کود اوره برای تجزیه بقایای گیاهی و افزایش مصرف بیشتر سموم برای غلبه بر علف هرز و آفات در این روش‌ها نسبت به روش مرسوم است. نتایج تحقیق نشان داد که میزان مصرف کود شیمیایی در سامانه آبیاری تیپ نسبت به آبیاری مرسوم در روش‌های خاک-ورزی حفاظتی کاهش ۳ درصدی داشت درحالی‌که در خاک‌ورزی مرسوم این تفاوت مشاهده نمی‌شود. دلیل کاهش مصرف کود شیمیایی در آبیاری قطره‌ای این است که کود موردنیاز گیاه از طریق کود- آبیاری در اختیار آن قرارگرفته بود. علت اصلی مصرف بالای کودهای شیمیایی در منطقه موردمطالعه، پایین بودن سطح آگاهی برخی از کشاورزان در فعالیت‌های کشاورزی و عدم انجام آزمایش خاک بود. همچنین، سهم بالای انرژی کود نشان داد که کشاورزان از زمان مناسب کود دهی و مقدار استفاده آن آگاهی کافی ندارند. از سوی دیگر کشاورزان منطقه برای بالا بردن عملکرد محصول، کود شیمیایی خصوصاً اوره زیاد مصرف می‌کنند. کود اوره نسبت به سایر کودها با بیش از ۲۰ درصد انرژی مصرفی پرمصرف‌ترین کود بود. مقادیر انرژی حاصل از مصرف کودهای فسفره، پتاسه و کود حیوانی نسبت به کود ازته ناچیز بود. با توجه به پرمصرف بودن کود ازته در مزارع ذرت، این امر بدیهی به نظر می‌رسد، اما نکته قابل‌توجه در این خصوص کاربرد کم و یا عدم استفاده از کود حیوانی می‌باشد.

متوسط مقدار مصرف سوخت در سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی با دیسک، کم‌خاک‌ورزی با چیزل و بی-خاک‌ورزی تحت سامانه آبیاری مرسوم به ترتیب با میانگین ۱۹۸، ۱۵۰، ۱۶۰ و ۱۳۰ لیتر در هکتار بود (جدول ۳). این میزان سوخت مصرف‌شده برای تولید ذرت، برای تمام مراحل زراعی از خاک‌ورزی تا برداشت برای سامانه خاک‌ورزی مرسوم، شامل مراحل شخم، دیسک، تسطیح، بذرکاری، کودپاشی، ایجاد نهر، عملیات داشت و برداشت با کمباین بود. اما در سامانه کم خاک‌ورزی با دیسک، چیزل پکر و بی‌خاک‌ورزی عملیات خاک‌ورزی کاهش ولی عملیات داشت و برداشت مشابه روش مرسوم بود. شکل ۱ درصد انرژی سوخت در روش‌های مختلف خاک‌ورزی را نشان می‌دهد. بیشترین درصد انرژی مصرف سوخت به سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم با ۱۵ درصد و بی‌خاک‌ورزی با ۸ درصد اختصاص یافت. هم‌چنین در آبیاری قطره‌ای نیز میزان انرژی سوخت مصرفی رتبه سوم را داشت، به‌طوری‌که خاک‌ورزی مرسوم با ۱۴ درصد بیشترین و بی‌خاک‌ورزی با ۱۱ درصد کمترین میزان انرژی مصرفی را داشتند. نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف این مقدار نهاده در منطقه موردمطالعه، در سامانه‌های خاک‌ورزی مرسوم نسبت به سایر روش‌های خاک‌ورزی بیشتر است. دلیل افزایش سهم انرژی سوخت در منطقه موردمطالعه به عدم تناسب ادوات با تراکتورهای مورداستفاده و بعضاً تنظیم نبودن پمپ انژکتور تراکتورها و تردد بیش‌ازاندازه تراکتور در سامانه خاک‌ورزی مرسوم است. بر اساس تحقیقات انجام‌شده در استان فارس، استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم منجر به صرفه‌جویی در مصرف سوخت به میزان ۷۷ درصد گردید (Afzalinia et al., 2009). نتایج تحقیق دیگری نیز نشان‌دهنده کاهش ۱۰ درصدی مصرف سوخت در استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی به‌جای خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد (Chen and Baillie, 2009). در مطالعه دیگری نیز نهاده سوخت دیزل با ۴۲ درصد از سهم انرژی مصرفی در تولید ذرت دانه‌ای، جزء نهاده‌های پرمصرف انرژی گزارش شد (Banaeian and Zangeneh, 2011).

شکل ۱ و ۲ سهم انرژی مصرفی ماشین در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و آبیاری مرسوم و قطره‌ای را نشان می‌دهد. خاک-ورزی مرسوم با آبیاری سطحی با میانگین ۱۹ درصد و در آبیاری قطره‌ای با میانگین ۱۷ درصد بیشترین سهم انرژی مصرفی را داشتند. سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی در آبیاری سطحی ۱۷ و در آبیاری قطره‌ای ۱۶ درصد هزینه را به خود اختصاص دادند که نشان از کاهش تردد ماشین‌های خاک‌ورزی در مزرعه است.

خاک‌ورزی حفاظتی و به‌خصوص تیمارهای کشت مستقیم به دلیل کاهش تعداد عملیات تهیه زمین و کاشت، دارای کمترین مصرف انرژی سوخت (۱۰ درصد) و ماشین (۱۴ درصد) بود و خاک‌ورزی مرسوم بیشترین مصرف انرژی سوخت(۱۴ درصد) و ماشین(۱۷ درصد) را به خود اختصاص داده است.

تحقیقات گذشته نیز نشان داد که در استان فارس برای تولید ذرت علوفه‌ای به روش کم خاک‌ورزی در مقایسه با خاک-ورزی مرسوم، انرژی کمتری مصرف می‌شود (Razzaghi et al., 2012). یکی دیگر از علل افزایش مصرف انرژی ماشین، عدم تناسب ماشین با مزرعه است. کشاورزان در مزارع کوچک، به علت کوچک بودن سطح بهره‌برداری، قادر به استفاده‌ی 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 به‌خودی‌خود باعث کاهش مصرف انرژی در این سطوح می‌گردد. پژوهشگران گزارش کردند که روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی مصرف انرژی را نسبت به روش خاک‌ورزی مرسوم کاهش می‌دهد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Arvidson, 2010).

میزان مصرف انرژی برای بذر استفاده‌شده در همه روش‌ها معادل ۱ درصد کل هزینه‌ها محاسبه شد. همچنین میزان انرژی مصرفی برای استفاده از نیروی انسانی در زراعت ذرت، در روش‌های مرسوم ۱ درصد و در روش‌های حفاظتی کمتر از ۱ درصد بود (شکل ۱ و ۲). همان‌طور که اشاره شد کمترین میزان مصرف انرژی ذرت دانه‌ای به نیروی انسانی و بذر مصرفی تعلق داشت که این امر نیز بازتابی از مکانیزه بودن عملیات مختلف کاشت، داشت و برداشت این محصول در منطقه می‌باشد.

شاخص‌های انرژی تولید ذرت دانه‌ای تحت سامانه‌های خاک‌ورزی و آبیاری:

با استفاده از شاخص‌های انرژی می‌توان سامانه‌های تولید محصولات مختلف هر منطقه را با یکدیگر مقایسه کرد (Vahedi and Younesi, 2017). در این مطالعه شاخص‌های مهم انرژی در مزارع ذرت منطقه ارزوئیه شامل انرژی ورودی، انرژی خروجی، بازده انرژی، افزوده خالص انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و کارایی مصرف آب محاسبه شد (جدول ۴). خاک-ورزی مرسوم تحت هر دو سامانه آبیاری بیشترین میزان ورودی انرژی را به اختصاص داد. دلیل افزایش مصرف انرژی در این سامانه، تردد بیشتر ادوات در مزرعه بود. محققین در بررسی مصرف انرژی برای تولید ذرت علوفه‌ای در استان فارس نیز نشان دادند که برای تولید ذرت علوفه‌ای در خاک‌ورزی مرسوم انرژی بیشتری موردنیاز است (Razzaghi et al., 2012). بیشترین بازده انرژی برای تولید ذرت در منطقه ارزوئیه، به کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر تحت هر دو سامانه آبیاری (سطحی- تیپ) اختصاص داشت و به ترتیب ۱/۶ و ۱/۴۱ مگاژول بر هکتار محاسبه گردید.

در مطالعه بهشتی تبار (Beheshti Tabar et al, 2010) بازده انرژی برای ذرت دانه‌ای ۱/۸۱ به دست آمد. بازده انرژی ذرت در کشور تایلند ۲/۹ تا ۳/۴، در کشور بنگلادش ۸/۱۱ و در یکی از ایالت‌های هندوستان ۴/۸۳ تا ۱۷/۰۲ گزارش‌شده است (Alam and Islam, 2005; Sing et al., 2007). محققین، کارایی انرژی در کشت ذرت دانه‌ای در ایالت‌های نبراسکا، جورجیا، اوهایو و ایلینوویز را به ترتیب ۱/۸، ۲/۱، ۴/۲ و ۴/۶ گزارش کردند (Pimenttal and Burgess, 1990) در این تحقیق نسبت انرژی در کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر در هر دو سامانه آبیاری (سطحی- تیپ) با برتری نسبت به سایر روش‌ها به ترتیب ۱/۶ و ۱/۴۱ محاسبه شد. یعنی به ازای هر یک مگاژول انرژی ورودی معادل ۱/۶ مگاژول انرژی تولیدشده است. این شاخص معرف تعادل انرژی در سیستم تولیدی و نحوهٔ مصرف انرژی می‌باشد و هراندازه حجم انرژی ورودی به سیستم افزایش پیدا کند این شاخص کاهش می‌یابد، هرچند کاهش عملکرد به دلایل مختلف نیز موجب کاهش این شاخص خواهد شد. پایین

بودن بازده مصرف انرژی ذرت تحت سامانه آبیاری قطره‌ای نسبت به روش مرسوم را می‌توان به مصرف بیشتر انرژی الکتریسیته در این روش مرتبط دانست.

شاخص بهره‌وری انرژی برای ذرت دانه‌ای تحت سامانه آبیاری سطحی و آبیاری تیپ برای همه روش‌های خاک‌ورزی در جدول ۴ آمده است. بیشترین بهره‌وری انرژی تحت دو سامانه آبیاری به ترتیب با ۰/۱۰۹ و ۰/۰۹۶ کیلوگرم بر مگاژول به دست آمد، این بدین معنی است که به ترتیب ۰/۱ و ۰/۰۹ کیلوگرم دانه به ازای هر واحد انرژی در مزارع ذرت تحت دو سامانه آبیاری حاصل‌شده است.

انرژی ویژه در آبیاری سطحی تحت سامانه‌های خاک‌ورزی (مرسوم- دیسک- چیزل و بی‌خاک‌ورزی) به ترتیب ۹/۶۷، ۹/۳، ۹/۱۵ و ۹/۴۷ مگاژول بر کیلوگرم محاسبه شد. این شاخص برای آبیاری قطره‌ای تحت سامانه‌های خاک‌ورزی به ترتیب ۱۰/۸، ۱۰/۴۵، ۱۰/۳۸ و ۱۰/۶۶ مگاژول بر کیلوگرم به دست آمد (جدول ۴). گزارش‌ها حاکی است که این نسبت برای گیاهان مختلف متفاوت است، مثلاً در ترکیه در کشت گندم ۵/۲۴، پنبه ۱۱/۲۴، ذرت ۳/۸۸، کنجد ۱۶/۲۱، گوجه‌فرنگی ۱/۱۴ و برای هندوانه ۰/۹۷ مگاژول بر کیلوگرم گزارش‌شده است (Canakci et al., 2005).

شدت انرژی نشان‌دهنده میزان انرژی ورودی در هر مترمربع از مزرعه می‌باشد (Kazemi and zare, 2014). بیشترین شدت انرژی به سامانه خاک‌ورزی مرسوم تحت آبیاری سطحی با میانگین ۷/۹ و کمترین آن به سامانه کم‌خاک‌ورزی تحت آبیاری سطحی با میانگین ۶/۳ مگاژول بر مترمربع اختصاص یافت (جدول ۴). این شاخص برای محصول گندم در شهرستان گرگان و مرودشت به ترتیب ۳/۲۱ و ۴/۱۸ مگاژول بر هکتار گزارش‌شده است (Kazemi and zare, 2014).

در این تحقیق کارایی مصرف آب بر اساس شاخص عملکرد دانه 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 تحت سامانه آبیاری سطحی ۱۱۳۰۰ و آبیاری قطره‌ای ۸۱۰۰ مترمکعب در هر هکتار محاسبه شد (جدول ۳). بیشترین کارایی مصرف آب از سامانه کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر تحت سامانه آبیاری تیپ با میانگین ۰/۸۹ کیلوگرم بر متر مکعب حاصل شد (جدول ۴).

یکی از مزایای مهم خاک‌ورزی حفاظتی، افزایش حفظ رطوبت در خاک در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم است که باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌گردد؛ نتایج این تحقیق نشان داد که در منطقه موردمطالعه به دلیل عدم آگاهی برخی از زارعین از مزایای حفظ بقایا و یا عدم ریسک‌پذیری حاضر به کاهش مصرف آب نبودند. بنابراین چنانچه امکان استفاده از سامانه آبیاری هوشمند وجود داشته باشد و مزارع به‌اندازه نیاز و در زمان لازم آبیاری گردند، میزان مصرف آب کاهش و نتایج مقایسه شاخص‌های انرژی در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بسیار دقیق‌تر و واقعی‌تر خواهد بود.

جدول ٤: شاخص‌های انرژی ذرت دانه‌ای تحت سامانه‌های آبیاری و خاک‌ورزی

شاخص	واحد	FI				TI			
		CT	RT_1	RT_2	ZT	CT	RT_1	RT_2	ZT
انرژی ورودی	مگاژول بر هکتار	۷۲۵۶۶/۱۵	۷۰۰۲۰/۹۶	۷۰۵۱۳/۵	۶۸۲۲۸/۲	۷۸۸۶/۵	۷۵۲۹۷/۲۵	۷۵۸۲۳/۲	۷۳۵۸۹/۰۵
انرژی خروجی	مگاژول بر هکتار	۱۱۰۲۵۲	۱۱۰۲۵۰	۱۱۳۱۹۰	۱۰۵۸۴۰	۱۰۷۳۱۰	۱۰۵۸۴۰	۱۰۷۳۱۰	۱۰۱۴۳۰
بازده انرژی	مگاژول بر هکتار	۱/۵۱	۱/۵۷	۱/۶۰	۱/۵۵	۱/۳۶	۱/۴۰	۱/۴۱	۱/۳۷
افزوده خالص انرژی	مگاژول بر هکتار	۳۷۶۸۳/۸	۴۰۲۲۹	۴۲۶۷۶/۶	۳۷۶۱۱/۸	۲۸۴۲۳/۵	۳۰۵۴۲/۷۵	۳۱۴۸۶/۸	۲۷۸۴۰/۹۵
بهره‌وری انرژی	کیلوگرم بر مگاژول	۰/۱۰۳	۰/۱۰۷	۰/۱۰۹	۰/۱۰۵	۰/۰۹۲	۰/۰۹۵	۰/۰۹۶	۰/۰۹۳
انرژی ویژه	مگاژول بر کیلوگرم	۹/۶۷	۹/۳	۹/۱۵	۹/۴۷	۱۰/۸۰	۱۰/۴۵	۱۰/۳۸	۱۰/۶۶
شدت انرژی	مگاژول بر مترمربع	۷/۳	۷	۷	۶/۸	۷/۹	۷/۶	۷/۶	۷/۴
کارایی مصرف آب	کیلوگرم بر متر مکعب	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۸۴

CT: خاک‌ورزی مرسوم، RT_1: کم‌خاک‌ورزی با دیسک، RT_2: کم‌خاک‌ورزی با چیزل پکر و ZT: بی‌خاک‌ورزی. FI: آبیاری سطحی، TI: آبیاری تیپ.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مهم‌ترین گلوگاه‌های مصرف انرژی برای تولید ذرت دانه‌ای در منطقه ارزوئیه به ترتیب تأمین آب آبیاری (الکتریسیته- الکتروموتور و آب مصرفی)، کودهای شیمیایی، گازوئیل و ماشین‌های کشاورزی بودند.

به دلیل افت سطح آب‌های زیرزمینی، تبدیل قنوات و چاه‌های نیمه عمیق به عمیق و همچنین کاهش میزان دبی آب چاه‌های کشاورزی، مصرف انرژی الکتریسیته برای پمپاژ آب به طرز قابل توجهی افزایش‌یافته است، به‌نحوی‌که بیش از ۴۰ درصد انرژی مصرفی جهت تولید ذرت دانه‌ای به انرژی تأمین آب آبیاری اختصاص داشت. کشت ذرت منطقه، در فصل گرم تابستان انجام می‌شود و ذرت از گیاهان پرمصرف ازلحاظ نیاز آبی می‌باشد، بنابراین با معرفی ارقام با فصل رشد کوتاه، ارقام مقاوم به خشکی، استفاده از روش‌های کم‌آبیاری و توسعه روش‌های نوین آبیاری، برقی کردن چاه‌های کشاورزی و آموزش به کشاورزان به خاموش کردن موتور پمپ و سامانه‌های پمپاژ در ساعات اوج مصرف برق، می‌توان به مقدار قابل توجهی صرفه‌جویی نمود.

مصرف کودهای شیمیایی و سموم، دومین نهاده انرژی‌بر بود. علت اصلی مصرف بالای کودهای شیمیایی در منطقه موردمطالعه، پایین بودن سطح آگاهی برخی از کشاورزان در فعالیت‌های کشاورزی و عدم انجام آزمایش خاک بود. همچنین، سهم بالای انرژی کود نشان داد که کشاورزان از زمان مناسب کود دهی و مقدار استفاده از آن آگاهی کافی ندارند. از میان کودهای شیمیایی، کود نیتروژن بیشترین سهم انرژی مصرفی را داشت. کشاورزان منطقه برای بالا بردن عملکرد محصول اقدام به مصرف زیاد کود شیمیایی خصوصاً اوره می‌نمایند. کود اوره نسبت به سایر کودها با بیش از ۲۰ درصد انرژی مصرفی پرمصرف‌ترین کود بود که به دلیل آب‌شویی زیاد، سهم زیادی در آلودگی منابع آب دارد. بنابراین توصیه می‌شود با آزمون خاک، مصرف

مناسب و منطقی کود، روش مصرف (کودآبیاری)، زمان مصرف و همچنین استفاده از کودهای بیولوژیک و کودهای آلی، مصرف کود نیتروژن کاهش داده شود.

سومین نهاده انرژی‌بر ادوات و ماشین‌های کشاورزی بودند. برای تحقق این هدف و کاهش تردد ماشین در مزرعه به‌عنوان سومین نهاده پرمصرف انرژی، توصیه می‌شود با استفاده توأم از کودکار و بذرکار و همچنین استفاده از روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی با حفظ بقایای محصول قبل به‌جای خاک‌ورزی مرسوم، مصرف انرژی در این گلوگاه کاهش داده شود.

منابع

1. Afzalinia, S., Dehghanian, S. E. 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. Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., and Kizilay, H. 2009. Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. J. Food Agri. Environ. 7: 475 – 480.
3. Amanlou, A. Ghasemi Mobtaker, H. Keyhani, A. Afsahi, A. and Mohammadi, A. 2010. Investigation of energy consumption of Maize production- Case study: Zanjan province. In: The 6th National conference on Agriculture Machinery Engineering and Mechanization. Karaj, Iran.15-16 September. (In Persian)
4. 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. Vol. 33 (3): 250-256.
5. Alam, M.S., and Islam, K.K. 2005. Energy flow in agriculture of Bangladesh. American Journal of Environmental Science. 1(3): 213-220.
6. Anonymous. 2016. Crop production in years 2015. Department of Planning and Economic Information Technology Center, Ministry of Agricultural Jahad.
7. Banaeian, N. and Zangeneh, M. 2011. Study on energy efficiency in corn production of Iran. Energy 36: 5394-5402.
8. Bereket Barut, Z., Ertekin, C., and Karaagac H.A. 2011. Tillage effect on energy use corn silage in Mediterranean coastal of Turkey. Energy 36: 5466-5475.
9. Beheshti Tabar, I., Keyhani, A. R. and Rafiee, S. 2010. Energy balance in Iran's agronomy. Renewable and Sustanable Energy Reviews. 14 (2):849-855.
10. Cochran, William. G. 1997. Sampling Techniques. Third Edition. Harvard University. Printed in the United States of America. 428 p.
11. Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I. and Ozmerzi, A. 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: case study for Antalya region, Turkey. Energy Conversation Management 46: 655–66.
12. Chen, G. and Baillie, C. 2009. Development of a framework and tool to acses on-farm energy uses of cotton production. Energy Conversion Management 50: 1256-1263.
13. 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.
14. Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, SH., Feizi, H., Khorramdel, S., Hassanzadeh Goroteh Tapeh, A., and Haydr Gholinejad, M. 2000. Energy balance in Wheat on Mazandaran Province. Pajuhesh and Sazandegi, 58: 63-65. (In Persian)
15. Gowdy, J. M., Miller, J. l., and Kherbachi, H. 1987. Energy use in us agriculture. Southern Journal Agiculture Economics 19: 33-41.

16. Hatirli, S.A., Ozkan, B., and Fert, K. 2005. An econometric analysis of energy input/output in Turkish agriculture, Renewable and Sustainable Energy Reviews 9: 608-23.
17. Houshyar, E., H., Azadi, M., Almassi, and M.J. Sheikh Davoodi. 2012. Sustainable and efficient energy consumption of corn production in southwest Iran: combination of multi-fuzzy and DEA modeling. Energy 44: 672-681.
18. Hosseini, S. M., Afzalinia, S and Mollaee, K. 2016. Energy indices in irrigated wheat production under conservation and conventional tillage and planting methods. Journal of Agricultural Machinery. Vol. 6, No. 1, p. 236-249. (In Persian)
19. Kazemi B. Tabatabayfar, a. and Borgahi, A.M. 2007. Study of Enerjy consumption required for production of one kg corn at different levels of opration in Darehshahr, region in Elame. Msc Thesis, Tehran University. 112 p. (In Persian)
20. Kazemi H and zare, s. 2014. Evaluation and comparison of energy consumption in wheat fields of Gorgan and Marvdasht.Cereal Research. Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan.4: 221-227.
21. Kitani, O. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. 5. Energy and Biomass Engineering. ASAE Pub.
22. Koocheki, a. 1994. Efficiency of energy use in agricultural ecosystems. Ferdowsi University Press, Mashhad. P. 315. (In Persian)
23. Mousavi-Avval, S., Rafiee, H., and 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.
24. Najafinezhad, H., Rashidi, N. and 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.
25. Nourmohammadi, G.H., Siadat, A., and Kashani, A. 1997. Cereal Production. Chamran University of Ahvaz Press. 349 p.
26. Ozkan, B., Akcaoz, H. and Karadeniz, F. 2004. Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. Energy Convers. Manag. 45, 1821-1830.
27. Pimental, D and Burgess, M. 1980. Energy input in corn production. In Handbook of energy utilization in agriculture, eds. D. Pimental, 67-84. CRC Press, Inc.
28. Rathke, G.W., Wienhold, B.J., Wilhelm, W.W., and Diepenbrock, W. 2007. Tillage and rotation effect on corn–soybean energy balances in eastern Nebraska. Soil & Tillage Reserch. 97: 60–70.
29. Razzaghi, M. Waismoradi, A. and Rahmati, H. 2012. Energy efficiency of different tillage systems in forage corn production. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4 (22):1644-1652 .
30. Rajaby, M. Soltani, H. Vahidnia, A. Zeinali, B. and Soltani, E. 2012. Evaluation of fuel consumption in wheat fields in Gorgan. Environmental Sciences. 9: 142-164.
31. Singh, K. Kushwaha H.L and Amit Singh. 2007. Energy consumption pattern of wheat production in India. Energy. 32(10): 1848-1854.
32. Singh, K. Srinivas, K. and 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.
33. Shahin, S. Jafari, A. Mobli, H. Rafiee, S. and Karimi, M. 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.

34. Younesi-Alamouti, M. and Sharifi, A. 2012. Investigating and determining of required power, fuel consumption and some soil properties in several tillage methods. J. Agric. Mach. 2(1): 11-18. (In Persian)
35. Vahedi, A. and Younesi-Alamouti, M. 2017. Determinination of Energy Indices of Broiler Units in Alborz province. Agricultural Mechanization and Systems Research. 17(67): 41-54. (In Persian)

Evaluation of energy consumption under different tillage and irrigation methods for corn production

Abstract

This study was conducted to evaluate and comparison of energy indices for maize production under different tillage and irrigation methods in Orzoueieh region in Kerman province. For this purpose, Information related to tillage and irrigation methods were provided through personal interview with farmers. In this study, energy use efficiency, net energy, energy productivity, energy intensity, specific energy and water use efficiency were calculated and analyzed. Data Analysis showed Maximum energy use efficiency in two irrigation methods to minimum tillage by chisel packer with 1.6 and 1.4 respectively. Minimum tillage with chisel packer in two irrigation method had maximum net energy gain with 4267.6 and 31486.8 MJ ha^{-1} respectively. Energy productivity index under tillage methods in conventional irrigation method and drip irrigation method were 1.1 and 0.09 kg MJ^{-1} respectively. Maximum energy intensity and specific energy under was conventional and drip irrigation method was related to conventional tillage method with 7.3, 6.8 MJ kg^{-1} and 10.6, 9.7 MJ m^{-2} respectively. Maximum water use efficiency in conventional and drip irrigation was obtained in minimum tillage by chisel packer with 0.65, 0.89 kg m^3. The result of this study indicated that in maize cultivation in Orzouieh region. Irrigation water supply, fertilizer& pesticides, machinery and fuel had maximum energy consumption.

Key words: Irrigation, Output and input energy, Tillage, Maize, Energy indices.