مطالعه و ارزیابی شاخص‌های انرژی و ارائه راهکارهایی به منظور بهبود کاربرد نهاده‌های مکانیزاسیون کشت کلزا در شهرستان مشهد (۲۷۸)

پیام محمدیان صبور[۱] ، ایرج رنجبر[۲] ، یحیی عجب‌شیرچی[۳]

چکیده

کلزا از جمله مهم ترین دانه‌های روغنی می‌باشد که در چند سال اخیر کشت و تولید آن از روند رو به رشدی برخوردار شده است. با توجه به داده های گردآوری شده از مطالعه میدانی در خصوص نحوه ی انجام عملیات زراعی در مورد این گیاه، مقادیر انرژی های نهاده و ستانده محاسبه گردیده و شاخص های انرژی در این رابطه ارزیابی شدند. نسبت انرژی ۱/۰۳ و بهره خالص انرژی ۱۴۸۶ مگاژول در هکتار بدست آمد. بالاترین سهم از میزان انرژی‌های نهاده متعلق به آبیاری بوده که ۵۷ درصد از کل انرژی نهاده را به خود اختصاص می‌دهد. با توجه به بالا بودن درجه مکانیزاسیون عملیات زراعی مختلف در کشت کلزا، نهاده انسانی تنها ۰/۵ درصد از مجموع انرژی ورودی را شامل می‌شود. یکی از راه‌های بهینه کردن مصرف انرژی در این محصول با توجه به بالا بودن انرژی آبیاری، بررسی نیاز آبی گیاه در منطقه با توجه به شرایط و عوامل تأثیرگذار محیطی همچون میزان تبخیر و تعرق، نوع خاک، روش آبیاری و... در کنار سنجش کارآیی سیستم‌های مختلف آبیاری به صورت جامع می‌باشد تا در نهایت بدون اثرگذاری منفی بر روی عملکرد، باعث صرفه جویی بیشتر در این زمینه شود. همچنین با توجه به حساسیت فوق العاده این محصول به ریزش دانه در هنگام برداشت، اصلاح ساختاری روش‌های برداشت به منظور حصول شرایطی که در آن تلفات دانه به حداقل خود کاهش یابد، پیشنهاد می‌گردد.

کلیدواژه: بهره وری انرژی، کلزا، نسبت انرژی، نهاده‌های مکانیزاسیون

۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، پست الکترونیک: payam61@gmail
۲- دانشیار گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی دانشگاه تبریز
۳- دانشیار گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی دانشگاه تبریز

مقدمه

افزایش تولیدات کشاورزی در اغلب موارد به واسطه معرفی و عرضه واریته‌های اصلاح شده و ایجاد محیط مساعد رشد و پرورش گیاهان و جانوران حاصل شده است. مکانیزاسیون مزارع، سطوح قابل کشت را افزایش داده و با انجام به موقع عملیات، باعث کاهش تلفات و در نتیجه افزایش عملکرد محصولات کشاورزی گردیده است. امروزه با توجه به رشد روزافزون جمعیت و شکل گیری نیازها و خواسته‌های جدید در کنار نیازهای اولیه انسان، وابستگی وی به منابع طبیعی و به ویژه منابع انرژی شدت بیشتری یافته، به گونه‌ای که بدون بهره‌گیری از آن‌ها، امکان رشد و توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و... میسر نمی‌باشد. از طرفی به دلیل محدودیت‌های منابع انرژی تجدید ناپذیر و به ویژه سوخت‌های فسیلی، لزوم بازنگری در استفاده بهینه از این منابع خدادادی بیش از پیش احساس می‌شود.

مطالعات مکانیزاسیون با هدف بررسی وضعیت هر منطقه به لحاظ میزان و چگونگی کاربرد منابع مختلف توان و نیز مقدار انرژی‌های مصرف شده و عوامل تأثیرگذار در تولید محصولات کشاورزی، نقش ارزنده‌ای در این میان ایفا نموده و توجه بیشتر به آن، برنامه ریزان را در جهت ارائه راهبردهای خرد و کلان کمک شایانی می‌نماید.

جهت برآورده ساختن نیازهای غذایی جمعیت رو به گسترش بشر، یک سیستم پایدار با بهره وری بالا می‌بایست در اولویت باشد. با تجزیه و تحلیل سیستم‌های مختلف کشاورزی، می‌توان به میزان استفاده از تمام اشکال انرژی پی برد و آموخت که چگونه می‌توان از منابع محدود همچون زمین، آب و منابع بیولوژیکی برای نسل‌های آینده، محافظت نمود [۱۵].

زمین‌های زراعی اکوسیستم‌هایی هستند که در آن انرژی به صورت سوبسید وارد می‌شود. در این نوع اکوسیستم‌ها، سعی می‌گردد شرایط مورد نیاز گیاه درحد مطلوب قرار گرفته تا کارآیی تولیدکننده‌ها در حداکثر مقدار خود باشد. به طور کلی بازدهی بالاتر سیستم‌های کشاورزی فقط به کمک مقادیر قابل توجهی انرژی خارجی است که به وسیله انسان در کاشت، آبیاری، مصرف کود، مبارزه با آفات، امراض و علف‌های هرز و ... مصرف می شود [۳].

کشاورزی شدیداً به انرژی و به خصوص سوخت‌های فسیلی وابسته ست. این موضوع مخصوصاً برای کشورهای پیشرفته که بیشتر محصولات کشاورزی دنیا را تولید می‌نمایند، صدق می‌کند. حتی در کشورهای در حال توسعه که انسان و دام منابع اصلی انرژی در مزرعه هستند، استفاده از سوخت‌های فسیلی به خاطر مکانیزاسیون کشاورزی در حال افزایش است.

مصرف مستقیم انرژی در تولید محصولات کشاورزی شامل:

– سوخت مورد نیاز تراکتورها (عمدتاً گازوئیل) جهت آماده کردن زمین، کاشت، داشت و حمل و نقل
– نیروی برق مصرف شده جهت پمپ‌های آب ری و جابجا کردن مواد در مزرعه
– سوخت دیزلی یا بنزینی مورد نیاز سیستم‌های آبیاری و ماشین‌آلات برداشت
– سوخت‌های فسیلی (نفت، گاز و ...) جهت مصرف در گرمایش تاسیسات و خشک کردن محصول

مصرف غیرمستقیم انرژی شامل:

– انرژی مصرفی برای ساخت تجهیزات و زیر ساخت‌های مزرعه
– انرژی مورد نیاز به منظور ساخت ادوات و ماشینهای کشاورزی
– انرژی مصرفی جهت ساخت کودهای شیمیایی
– انرژی موردنیاز برای تولید سموم شیمیایی همچون علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و ...
– انرژی مصرفی جهت فآوری و بازار رسانی غذا و مواد کشاورزی

روابط نهاده – ستانده در سیستم زراعی، بسته به نوع محصول ، نوع خاک، ماهیت عملیات خاکورزی جهت آماده سازی بستر بذر، نوع و میزان کودهای شیمیایی و آلی، عملیات داشت، برداشت و در نهایت سطوح عملکرد، تغییر می‌کند [۹].

یکی از رویکردهای مناسب در جهت کاهش انرژی‌های نهاده و از سوی دیگر افزایش انرژی ستانده، بررسی و ارزیابی شاخص های بدست آمده از مطالعات منطقه‌ای می‌باشد. این که چه عواملی چگونه و به چه میزان بیشترین تأثیر را در مقدار این شاخص‌ها می‌گذارند در کنار بررسی امکان جایگزینی آنها با سایر عوامل و با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی، در نهایت می‌تواند منجر به بهینه سازی الگوی مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی گردد. به نظر ویتنی[1] فرصت‌های مختلفی در جهت افزایش نسبت

[1] Witney

انرژی در تولید محصولات وجود دارد. یک راهکار می‌تواند کم کردن انرژی نهاده به واسطه طراحی بهتر ماشین‌آلات کشاورزی، تکنیک‌های مؤثر پخش کودها و سموم شیمیایی به منظور رشد و حفاظت گیاهان که کاهش استفاده از آنها (کود و سموم) را در پی داشته و نیز استفاده بیشتر از محصولات جانبی و ضایعات کشاورزی دارای محتوای انرژی بالا باشد. در دراز مدت، سطح انرژی ستانده می‌تواند از طریق توسعه محصولات و فـ الیت‌های زراعی که منجر به بالا بردن تبدیل انرژی خورشید به ماده خشک گیاهی می‌گردد، افزایش یابد. به طور مثال می‌توان با کشت زود هنگام محصولات از اشعه آفتاب بیشتر بهره گرفت و یا با اصلاح ساختار ژنتیکی گیاهان زراعی، ارقامی که کارآیی فتوسنتز درونی بیشتری دارند، به بار آورد که در نهایت باعث بالابردن عملکرد گیاه میشوند [۱۹].

بیرتال[1] و همکاران در تحقیقی با عنوان تقاضای انرژی برای تولید محصولات کشاورزی، شش محصول عمده را مورد بررسی قرار داده و منابع انرژی و درصد مصرف هر نهاده را به صورت جداگانه برای هر محصول محاسبه نمودند که بر این اساس در مورد گندم به طور متوسط در هرایکر، ۱۰/۹۲ درصد از کل انرژی مصرفی شامل استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی بود [۸].

کلمنتس[2] و همکاران در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که بازده اقتصادی در نظام‌های زراعی مختلف، روندی مشابه با بازده انرژی دارد؛ به این ترتیب که بازده اقتصادی در نظام‌های کم نهاده بیشتر از نظام‌های پرنهاده است [۱۰].

آلام[3] و همکاران با مطالعه جریان انرژی در بنگلادش طی ۲۰ سال به این نتیجه رسیدند علیرغم اینکه نهاده‌های انرژی مکانیکی، شیمیایی و بذر به ترتیب ۲/۱۱، ۳/۶۵ و ۱/۷۱ برابر افزایش یافته اند، انرژی ستانده تنها به میزان ۱/۷ برابر رشد پیدا کرده است [۵].

سینگ[4] به منظور بیشینه کردن عملکرد تولید گندم به مقایسه الگوهای مصرف انرژی در نقاط مختلف هند پرداخت. سطح تکنولوژی، انرژی نهاده و عوامل اقلیمی- زراعی مرتبط ترین پارامترهای تولید گندم محسوب گردیدند. در این پژوهش، بیشترین میزان انرژی نهاده برای گندم ۱۷/۷۸۸ گیگاژول در هکتار و بالاترین نسبت انرژی برابر با ۵/۲ برای این محصول به‌دست مد [۱۶].

مواد و روش‌ها

از آنجا که هدف این پژوهش، مطالعه و بررسی جریان انرژی در کشت کلزا در منطقه مشهد بود، با در نظر گرفتن ماهیت عملیات ماشینی مربوطه، پرسش نامه‌هایی تهیه گردید که در آن نوع عملیات انجام گرفته شده، سطح عملیات، مدت زمان انجام کار، نوع و اندازه تراکتور و ادوات مورد استفاده و ... مورد پرسش واقع شدند. همچنین میزان استفاده از نهاده‌ها از قبیل بذر، کودهای شیمیایی، نیروی کارگری و ... نیز مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل گستردگی منطقه مورد مطالعه، با توجه به غالب بودن کشت این محصول در برخی نقاط، ابتدا ۳ دهستان انتخاب شده و از هر دهستان ۳ روستا و از هریک ۸ کشاورز به تصادف برگزیده شدند و سپس داده‌های مورد نظر جمع آوری گردیدند. با مراجعه حضوری به کشاورزان و بررسی فـ لیت‌های آنان، اطلاعات اخیر از آن دسته کشاورزانی که به دلیل دارا بودن دفاتر ثبت هزینه‌ها و عملیات، داده‌های کامل‌تری داشتند، حاصل شد. در نهایت از روش میانگین گیری وزنی برای هریک (با توجه به سطح زیر شت) ، مقادیر نهاده‌های مختلف به کار برده شده بدست مد.

جهت تعیین روابط بین انرژی نهاده و ستانده برای محصولات کشاورزی، شاخص‌هایی تعریف و به کار برده می‌شوند که در ادامه به شرح یکایک آن‌ها می‌پردازیم .

نسبت انرژی (ER[5])

این شاخص، رابطه بین انرژی ستانده و انرژی نهاده را بیان می‌سازد و به صورت زیر تعریف می‌گردد:

نسبت انرژی = انرژی ستانده/ انرژی نهاده (۱)

به این دلیل که در این رابطه، صورت و مخرج از یک بعد می‌باشند، نسبت انرژی شاخصی است بی بُعـد، بنـابراین مـی‌تـوان آن را برای مقایسه هر نوع محصولی به کار برد.

بهره وری انرژی (EP[6])

---

[1] Birthal
[2] Clements
[3] Alam
[4] Singh
[5] Energy Ratio
[6] Energy Productivity

بهره‌وری انرژی، به کارگیری عاقلانه منابع انرژی در بهترین سطح ممکن (از تولید تا مصرف) با اتخاذ مطلوبترین استراتژی در جهت بهره گیری از انرژی برای مصارف مختلف است و به صورت زیر بیان می‌شود:

(۲) انرژی نهاده / عملکرد وزنی محصول = بهره وری انرژی

واحد آن به صورت کیلوگرم بر مگاژول بوده و بیشتر برای مقایسه دو محصول یکسان در سیستمهای مختلف کشاورزی استفاده می‌گردد و نشان دهندهٔ میزان کارآیی هر سیستم می‌باشد [۲].

بهره خالص انرژی (NEG[1])

تفاوت بین انرژی نهاده و ستانده را با این شاخص و به صورت زیر بیان می‌کنند:

(۳) انرژی نهاده – انرژی ستانده = بهره خالص انرژی

با توجه به این که در این فرمول، انرژی نهاده و ستانده در واحد سطح (هکتار) منظور می‌گردند، بهره خالص انرژی در هکتار بدست خواهد آمد. بهره خالص انرژی می‌تواند میزان توسعه بالقوه انرژی را که در شرایط اقلیمی مختلف به نحوه سازماندهی تکنیک‌های زراعی بستگی دارد، مشخص سازد.

فلاک معتقد است با توجه به روش‌های متعدد و رویکردهای مختلف در تعیین انرژی انسانی و این که در نهایت باید این شاخص به صورت کمّی مورد مقایسه قرار گیرد، می‌توان توقع داشت که با اعداد و ارقام متفاوت و آن هم در محدوده‌ای وسیع روبه‌رو شویم. اعداد و ارقام در این محدوده از ۱ تا ۱۴۵۰ مگاژول در روز(۸ ساعت ار) به ازاء هر نفر گزارش شده است [۴]. آنچه مسلم است با توجه به الگوها و فرآیندهای مختلف و متفاوتی که جهت تولید نهاده‌های کشاورزی از قبیل ماشین‌آلات، کودهای شیمیایی، سموم، بذر و... وجود دارد، دامنهٔ این اختلافات نیز وسیع‌تر می‌گردد. این امر یکی از معضلات در مطالعات جریان انرژی محصولات کشاورزی محسوب می‌شود.

از مجموعه مطالب بالا این‌گونه می‌توان نتیجه گرفت تا زمانی که این مقادیر به صورت استاندارد وجود نداشته باشند، این مسائل وجود خواهد داشت. بنابراین می‌بایست با توجه به شرایط اقلیمی، زراعی و نیز فنون به‌کار رفته در تهیه نهاده‌ها و کارد آن ها، مطالعات جامعی انجام گیرد تا در نهایت بتوان به نقطهٔ مشترکی در این زمینه دست یافت. با مرور مطالعات انجام گرفته شده در کشورهای مختلف و چگونگی استفاده از این معادل‌ها، جدول ۱ جهت محاسبه انرژی‌های مربوط به هریک از نهاده‌ها و ستانده‌ها، ته و در محاسبات در نظر گرفته شدند.

[1] Net Energy Gain

جدول ۱- معادل نهاده‌های انرژی

نهاده انرژی	واحد	میزان انرژی هر واحد (MJ)	منبع
نیروی کارگری	ساعت (hr)		
مرد		۱/۹۶	[۱۱]
زن		۱/۵۷	[۱۱]
کودهای شیمیایی	کیلوگرم (kg)		
N		۴۷/۱	[۹]
P_2O_5		۱۵/۸	[۹]
K_2O		۹/۲۸	[۹]
سموم شیمیایی	کیلوگرم (kg)		
حشره‌کش		۱۰۱/۲	[۲۰]
علف‌کش		۲۳۸	[۱۴]
سوخت دیزل	لیتر (l)	۴۷/۸	[۱۲]
تراکتور	کیلوگرم (kg)	۹۳/۶۱	[۱۲]
ماشینهای کشاورزی	کیلوگرم (kg)	۶۲/۷	[۱۱]
کمباین	کیلوگرم (kg)	۸۷/۶۳	[۱۲]
دانه های روغنی	کیلوگرم (kg)		
نهاده		۳/۶	[۱۷]
ستانده		۲۵	[۱۴]

نتایج و بحث

الف) انرژی مربوط به ساخت و استهلاک ماشین‌آلات

سینگ به منظور محاسبهٔ انرژی ساخت و استهلاک ماشین آلات، رابطهٔ ۴ را پیشنهاد نموده‌است [۱۷].

$$M_{pe} = GM_pT/W \qquad (۴)$$

که در آن M_{pe} انرژی ساخت و استهلاک بر حسب MJ ؛ G جرم ماشین (kg)؛ M_p انرژی ساخت بر حسب (MJ/kg)؛ T ساعات رکرد و W عمر اقتصادی ماشین بر حسب ساعت می‌باشد.

تعیین عمر دقیق ماشین، بسیار پیچیده و تا حد زیادی غیر ممکن است، با این وجود می‌توان به طور تقریبی، عمر مفید تراکتور و ادوات کشاورزی را برآورد نمود. آنچه مسلم است این نکته می‌باشد که عمر مفید تراکتور و ماشین‌های کشاورزی تابع عوامل متعددی همچون کیفیت ساخت قطعات، نحوهٔ به کارگیری ماشین، شرایط اقلیمی، نوع خاک، نوع محصول، انجام سرویسهای منظم و دوره‌ای و ... بوده و در نتیجه دارای دامنهٔ تغییرات زیادی می‌باشد. جدول ۲، عمر مفید تعدادی از ماشین‌های کشاورزی را نشان می‌دهد که جهت محاسبهٔ انرژی معادل ساخت و استهلاک از آن استفاده گردید.

جدول ۲- عمر مفید برخی از ماشین‌های کشاورزی [۶]

ماشین	عمر مفید (ساعت)
تراکتور	۱۲۰۰۰
گاوآهن	۲۰۰۰
دیسک	۲۰۰۰
کودپاش	۱۲۰۰
خطی کار	۱۲۰۰
نهرکن	۲۰۰۰
لولر	۲۰۰۰
سمپاش	۱۵۰۰

در این قسمت، ابتدا به شرح نوع عملیات ماشینی و نحوهٔ انجام آن‌ها پرداخته شده و سپس انرژی‌های مصرفی محاسبه می‌گردند. جهت آماده سازی بستر بذر، ابتدا شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار سه خیش و در یک مرحله انجام می‌شود. عملیات دیسک زنی در سه نوبت و توسط دیسک دوزانویی (تاندوم) صورت می‌پذیرد. به منظور تسطیح زمین و از بین بردن ناهمواری‌ها، از لولر و در سه مرتبه استفاده به عمل می‌آید. کوددهی قبل از کاشت نیز به کمک کودپاش سانتریفوژ انجام می‌گیرد. عمل کاشت و تثبیت بذر در خاک توسط خطی کار کامل می‌گردد. در مرحلهٔ داشت، در دو نوبت کود سرک به زمین داده می‌شود که یک مرحله توسط کودپاش سانتریفوژ و مرحلهٔ دیگر از طریق آب آبیاری می‌باشد. سمپاش بوم دار تراکتوری در دو نوبت عمل سمپاشی را به عهده دارد. برداشت با استفاده از کمباین غلات مجهز به هِد مخصوص جمع آوری دانه کلزا ، انجام می‌شود. عملیات آبیاری نیز در پنج نوبت و توسط کارگر صورت می‌گیرد.

عملیات خاکورزی شامل شخم، دیسک زنی و تسطیح، با تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ و عملیات کاشت، سمپاشی، کودپاشی و نیز نهرکنی توسط تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ صورت می‌گیرد. با توجه به رابطهٔ ۴، انرژی معادل ساخت و استهلاک ماشین‌آلات در کشت کلزا محاسبه گردید که نتایج حاصل از آن در جدول ۳ آورده شده‌است.

جدول ۳- انرژی معادل ساخت و استهلاک ماشین‌آلات در کشت یک هکتار کلزا
(مطالعه میدانی، ۱۳۸۶)

ماشین	جرم (kg)	ساعات کارکرد (hr)	انرژی واحد (MJ/kg)	انرژی معادل (MJ)
گاوآهن برگردان دار سه خیش	۴۰۰	۴	۶۲/۷	۵۰/۲
دیسک تاندوم	۱۸۰۰	۳	۶۲/۷	۱۶۹/۳
لولر	۷۵۰	۳	۶۲/۷	۷۰/۵
کودپاش سانتریفوژ	۳۵۰	۲	۶۲/۷	۳۶/۶
نهرکن	۲۵۰	۱	۶۲/۷	۷/۸
خطی کار	۶۸۰	۱	۶۲/۷	۳۵/۵
سمپاش	۳۰۰	۴	۶۲/۷	۵۰/۲
کمباین غلات با هِد مخصوص	۶۸۰۰	۳	۸۷/۶۳	۸۹۴
تراکتور MF-399	۳۳۰۰	۱۰	۹۳/۶۱	۲۵۷/۴
تراکتور MF-285	۲۸۰۰	۸	۹۳/۶۱	۱۷۴/۷
مجموع				۱۲۴۶/۲

همانطور که از جدول پیداست، بالاترین انرژی معادل ساخت و استهلاک متعلق به کمباین می‌باشد که هر چند در مقایسه با تراکتور، دارای ساعات کارکرد کمتری است ولی به دلیل بالا بودن نسبت جرم به عمر تخمینی آن در مقایسه با سایر ماشین‌های مورد استفاده در کشت کلزا، تقریباً ۵۱ درصد از کل این انرژی را در برمی‌گیرد. در بین ادوات دیسک تاندوم در ردهٔ اول قرار دارد (با ۹/۷ درصد از کل انرژی ساخت و استهلاک) و نهرکن با ۷/۸ مگاژول در هکتار، کمتر از ۰/۵ درصد از مجموع انرژی معادل ساخت و استهلاک را شامل می‌شود.

ب) انرژی معادل سوخت مصرفی عملیات اشینی

سوخت مصرفی در هر هکتار بسته به نوع ماشین، شرایط خاک و محصول، عرض کار، سرعت پیشروی و ... تغییر می‌کند. برای تعیین مقدار سوخت مصرف شده، ابتدا می‌بایست مقدار نیروی لازم جهت حرکت ماشین در سطح مزرعه، محاسبه شود. جدول ۴ مقادیر نیروی مالبندی لازم جهت حرکت گاوآهن به ازاء واحد سطح خاک برگردان شده و به ازاء واحد عرض دستگاه برای دیسک و خطی‌کار نشان می‌دهد.

بعد از بدست آوردن مقدار نیروی مالبندی مورد نیاز هر ماشین با توجه به مشخصه‌های کاری آن، توان مالبندی هریک طبق رابطهٔ ۵ قابل محاسبه است [۱۳].

$$P_{db}\,(\mathrm{kW}) = F_{db}\,(\mathrm{kN}) \cdot S\,(\mathrm{km/hr})/3.6 \qquad (۵)$$

که F_{db} نیروی مالبندی و S سرعت پیشروی ماشین می‌باشد.

جدول ۴- نیروی کششی مورد نیاز ادوات [۱۳]

ماشین	نیروی مورد نیاز
گاوآهن برگردان‌دار	۳/۴-۶/۲ (N/cm^2)
دیسک دوزانویی (سبک)	۱/۵-۲/۹ (kN/m)
دیسک افست (سنگین)	۳/۶-۵/۸ (kN/m)
خطی کار	(kN/m ۰/۴-۱/۵)

قدرت ستانده در مالبند به خاطر بکسوات چرخ محرک، مقاومت غلتشی تراکتور و تلفات اصطکاکی درسیستم انتقال نیرو، همیشه از قدرت ستانده در محور توان دهی کمتر است. مجموع تلفات مزبور ا می‌توان توسط ضریب کشش و انتقال (T&T) که عبارت است از نسبت توان مالبندی به توان محور توان دهی، مشخص نمود. توان محور توان دهی منطبق با توان مورد نیاز مالبندی با اعمال مقدار مناسبی برای ضریب کشش و انتقال، تعیین می‌شود. اگر کل یا بخشی از توان مورد نیاز وسیله، مستقیماً از طریق محور توان دهی تأمین شود، این مقدار به توان محوری مورد نیاز برای کشش مالبندی اضافه می‌گردد [۱۳]. مقادیر ضریب T&T برای خاکهای مختلف و شرایط کاری متفاوت در جداول استاندارد آورده شده است.

بعد از تعیین توان مصرفی محور توان دهی، مقدار بار وارده به موتور را بر اساس رابطهٔ ۶ می‌توان بدست آورد [۱].

$$\text{بار تور} = \frac{\text{توان مصرفی محور توان دهی}}{\text{بیشینه توان محور توان‌دهی}} \qquad (۶)$$

حداکثر توان محور توان دهی، ۰/۸۷ توان اسمی تراکتور در نظر گرفته می‌شود [۱]. طبق جدول ۵، ارزش کارآیی سوخت بر اساس کیلو وات ساعت بر لیتر برای بارهای مختلف حاصل می‌شود. در مورد بارهایی که در جدول ذکر نشده، از روش میان یابی، ارزش کارآیی سوخت محاسبه می‌گردد. در خاتمه برای تعیین میزان سوخت مصرفی در ساعت برای هر عملیات، توان مصرفی محور توان دهی را به ارزش کارآیی سوخت تقسیم می‌نماییم.

جدول ۵- ارزش کارآیی سوخت تراکتور در حالت تمام گاز (kW.hr/lit) [۱]

درصد بار روی موتور	موتور دیزل معمولی
۱۰۰	۲/۹
۸۰	۲/۸۴
۶۰	۲/۶
۴۰	۲/۱۳
۲۰	۱/۳۸

در این بخش مشخصات و شرایط کاری ماشینهای مرتبط در کشت کلزا تشریح گردیده کـه بـر اسـاس آن سـوخت مـصرفی بـه تفکیک هر عملیات محاسبه و در جدول ۶ درج شده ست.

- شخم: گاوآهن برگردان‌دار سه خیش، عرض هر خیش ۳۵ سانتی متر، عمق کار ۳۵ سانتی متر، سرعت پیـشروی ۵ کیلـومتر در ساعت، نیروی مقاومت ویژه خاک ۵ نیوتن بر واحد سطح خاک شخم خورده، تراکتور MF-399
- دیسک: دیسک تاندوم ۳۲ پره، عرض ار ۲/۵ متر، سرعت پیشروی ۶ کیلومتر در ساعت، نیروی مقاومت ویژه خاک ۲/۵ نیوتن به ازاء هر متر عرض کار، تراکتور MF-399
- کاشت: خطی کار غلات، عرض کار ۲/۵ متر، سرعت پیشروی ۶ کیلومتر در ساعت، نیروی مقاومت ویژه خاک ۱ کیلو نیوتن در هر متر عرض کار، تراکتور MF-285

برای محاسبه سوخت مصرفی کودپاش و سم‌پاش، بار موتور حدود ۰/۲ درنظر گرفته شد. بنابراین با مشخص بودن نوع تراکتور و حداکثر توان محور توان دهی، طبق رابطهٔ ۶ توان مصرفی محور توان دهی بدست می‌آید و با تقسیم کردن آن به ارزش کـارآیی سوخت که از جدول ۵ حاصل می‌شود، مصرف سوخت بر حسب لیتر در ساعت نتیجه می‌گ دد. برای عملیات تسطیح توسط لـولر و نهرکنی، این مقادیر به ترتیب معادل سوخت مصرفی عملیات دیسک زنی و شخم در نظر گرفته شدند.

میزان سوخت مصرفی توسط کمباین، در محدوده ۲۲۰– ۱۹۰ گرم سوخت دیزل به ازاء یک ساعت و برای هر اسب بخار توان کمباین در نظر گرفته می‌شود [۲]. با توجه به توان ۱۰۵ اسب بخاری کمباین جـان دیـر ۹۵۵، مقـدار متوسـط سـوخت مـصرفی در ساعت بر حسب چگالی سوخت معادل *gr/lit* ۸۳۰، ۲۵/۳ لیتر بدست می‌آید.

جدول ۶- سوخت مصرفی ادوات در کشت کلزا

(مطالعهٔ میدانی، ۱۳۸۶)

ماشین	تراکتور	نیروی کششی (kN)	توان مالبندی (kW)	ضریب کشش و انتقال	توان محور تواندهی (kW)	بار	ارزش کارآیی سوخت (kW.hr/lit)	مصرف سوخت (lit/hr)
گاوآهن برگردان‌دار	MF-399	۱۸/۴	۲۵/۵	۰/۸	۳۲	۰/۴۵	۲/۲۵	۱۴/۲
دیسک تاندوم	MF-399	۶/۲۵	۱۰/۴	۰/۴۵	۲۳	۰/۳۲	۱/۸۳	۱۲/۶
خطی کار	MF-285	۲/۵	۴/۲	۰/۴	۱۰/۵	۰/۲۱	۱/۴۲	۷/۴
کود پاش سانتریفوژ	MF-285				۹/۷	۰/۲	۱/۳۸	۷
سمپاش	MF-285				۹/۷	۰/۲	۱/۳۸	۷

جدول ۷- میزان انرژی معادل سوخت در کشت یک هکتار کلزا

(مطالعه میدانی، ۱۳۸۶)

عملیات	تعداد ساعات ار	مصرف سوخت (lit/hr)	کل سوخت مصرفی (lit)	درصد از کل
شخم	۴	۱۴/۲	۵۶/۸	۲۱
دیسک زنی	۳	۱۲/۶	۳۷/۸	۱۴
تسطیح	۳	۱۲/۶	۳۷/۸	۱۴
نهرکنی	۱	۱۴/۲	۱۴/۲	۵/۲
کودپاشی	۲	۷	۱۴	۵/۱
بذرکاری	۱	۷/۴	۷/۴	۲/۷
سمپاشی	۴	۷	۲۸	۱۰
برداشت	۳	۲۵/۳	۷۵/۹	۲۸
مجموع سوخت مصرفی (لیتر)			۲۷۱/۹	
معادل انرژی (مگاژول)			۱۲۹۹۶/۸	

طبق جدول ۷ عملیات برداشت توسط کمباین بیشترین میزان سوخت مصرفی را در کشت کلزا دارد؛ به عبارتی در حدود ۲۸ درصـد از انرژی معادل سوخت به آن اختصاص دارد که نشان از انرژی‌بر بودن این عملیات دارد. بذرکاری با مـصرف ۷/۴ لیتـر سـوخت در هر هکتار، ۲/۷ درصد از کل انرژی مصرفی سوخت را شامل می‌شود.

پ) انرژی معادل آبیاری

انرژی مورد نیاز برای آبیاری یک هکتار زمین، بستگی به عمق منبع آب، منبع توان، سیستم آبیاری و نیاز آبی گیاه دارد. رابطه ۷ مقدار انرژی لازم جهت پمپاژ آب را نشان می‌دهد [۷].

$$E = \rho g H Q / \varepsilon_1 \varepsilon_2 \qquad (۷)$$

که در آن E انرژی مورد نیاز پمپاژ بر حسب J/ha؛ ρ چگالی آب ($۱۰۰۰\ kg/m^3$)؛ g ثابت گرانش زمین ($۹/۸\ m/s^2$)؛ H هد دینامیکی کل برحسب (m) که شامل افت‌های ناشی از اصطکاک (بر حسب متر) نیز می‌باشد؛ Q حجم آب مصرفی بر حسب m^3/ha؛ ε_1 بازده پمپ که تابع ارتفاع عمودی بالابر، سرعت و جریان آب بوده و معمولاً از ۰/۷ تا ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود و ε_2 بازده کل تبدیل انرژی و توان می‌باشد که برای الکترو پمپ ۰/۲۲–۰/۱۸ و برای دیزل ۰/۳–۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود. در مـ رد کلزا از چاه برقی با هد دینامیکی ۱۰۰ متر و دبی ۲۵ لیتر در ثانیه و ۱۰ ساعت آبیاری در هر نوبت استفاده می‌شود. در مجموع ۵ بار آبیاری برای این محصول، حجم آب مصرفی m^3/ha ۴۵۰۰ شده که با استفاده از رابطه۷، ۲۷۵۹۰/۶ مگاژول انرژی صرف آبیاری هر هکتارکلزا می‌گردد.

ت) انرژی معادل توان انسان

در کشت کلزا، تمامی عملیات زراعی به صورت ماشینی انجام می‌گیرد و فقط آبیاری با استفاده از توان ماهیچه‌ای انسان صورت می‌پذیرد. آبیاری این محصول در ۵ مرحله بوده که در هر نوبت ۲ نفر– روز برای هر هکتار مورد نیاز است. انرژی مصرفی اُپراتور (راننده) تراکتور و کمباین نیز با احتساب تعداد ساعات کاری و ضرب در معادل انرژی کار یک ساعت مرد، بدست آمد.

جدول ۸– انرژی معادل توان انسان در کشت یک هکتار کلزا

(مطالعهٔ میدانی، ۱۳۸۶)

فعالیت	تعداد ساعات کاری	انرژی احد (MJ/hr)	انرژی معادل (MJ)
راننده	۲۱	۱/۹۶	۴۱/۲
آبیاری	۱۰۰*	۱/۹۶	۱۹۶
مجموع			*۲۳۷/۲*

* در مورد آبیاری، یک روز کاری برابر ۱۰ ساعت در نظر گرفته می شود.

همانگونه که از جدول ۸ برمی‌آید، بیشترین سهم از انرژی مصرفی انسان در کشت کلزا، متعلق به فعالیت آبیاری است؛ به نحوی که ۸۲ درصد از کل انرژی مصرفی انسان را به خود اختصاص می‌دهد.

ج) انرژی معادل بذر، سم و کودهای شیمیایی

با توجه به میزان استفاده از بذر، سم و کود در یک هکتار کلزا و معادل‌های انرژی هریک، کل انرژی معادل این نهاده‌ها بدست آمد.

جدول ۹– مقدار انرژی معادل نهاده‌های بذر، سم و کود در کشت یک هکتار کلزا

(مطالعهٔ میدانی، ۱۳۸۶)

نهاده	مقدار (kg)	انرژی واحد (MJ/kg)	انرژی معادل (MJ)
بذر	۱۲	۲۶	۳۱۲
ازت N	۹۲	۴۷/۱	۴۳۳۳
اکسیدفسفر P_2O	۴۶	۱۵/۸	۷۲۶/۸
پتاس K_2O	۲۵	۹/۲۸	۲۳۲
علف کش	۱	۲۳۸	۲۳۸
حشره کش	۱	۱۰۱/۲	۱۰۱/۲
مجموع	–	–	*۵۹۴۳*

مطابق جدول ۹ در بین نهاده‌های مصرفی، ازت با ۴۳۳۳ مگاژول در هکتار و به عبارتی با ۷۳ درصد از مجموع انرژی نهاده های بذر، کود و سموم شیمیایی، بخش اعظم انرژی مصرفی این نهاده‌ها را در کشت کلزا شامل می‌شود.

سهم انرژی‌های مختلف از کل انرژی مصرفی در کشت کلزا

با توجه به تعیین مقدار انرژی‌های معادل ساخت و استهلاک ماشین‌آلات، انرژی معادل سوخت مصرفی، انرژی آبیاری، انرژی معادل توان انسان و انرژی معادل بذر، سم و کودهای شیمیایی، مقدار کل انرژی نهاده در کشت یک هکتار کلزا و سهم هر یک از این انرژی‌ها در جدول ۱۰ نشان داده می‌شود.

جدول ۱۰- انرژی نهاده‌ها و درصد هریک از کل انرژی مصرفی در کشت یک هکتار کلزا

(مطالعهٔ میدانی، ۱۳۸۶)

نهاده	انرژی معادل (MJ)	درصد از کل انرژی مصرفی
ساخت و استهلاک ماشین‌آلات	۱۷۴۶/۲	۳/۷
سوخت مصرفی	۱۲۹۹۶/۸	۲۶/۸
آبیاری	۲۷۵۹۰/۶	۵۷
انسان	۲۳۷/۲	۰/۵
بذر، سم و کود	۵۹۴۳	۱۲
مجموع	۴۸۵۱۳/۸	۱۰۰

از جدول ۱۰ پیداست که آبیاری با ۵۷ درصد از کل انرژی نهاده، بالاترین سهم از کل انرژی مصرفی در کشت کلزا را به خود اختصاص می‌دهد. به دلیل حجم بالای عملیات ماشینی و وابستگی این عملیات به سوخت، ۲۶/۸ درصد از انرژی نهاده در این محصول شامل انرژی سوخت مصرفی است. نهادهٔ نیروی انسانی تنها با ۰/۵درصد از کل انرژی نهاده، سهم ناچیزی در این بین داشته که خود بیان‌گر وابستگی کمتر این محصول به توان انسان و نشان دهنده درجه بالای مکانیزاسیون عملیات زراعی مربوط به کشت کلزا می‌باشد. بذر، سم و کود نیز با ۱۲ درصد از کل انرژی مصرفی، نقش بسزایی در میزان انرژی ورودی این محصول دارند.

محاسبه انرژی ستانده

با توجه به مطالعه میدانی انجام گرفته شده، متوسط عملکرد کلزا در حدود ۲ تن در هکتار می‌باشد. با در نظر گرفتن معادل انرژی ستانده هر کیلوگرم کلزا، انرژی ستانده در هکتار برای این محصول بدست می‌آید.

جدول ۱۱- انرژی ستانده در کشت یک هکتار کلزا

(مطالعهٔ میدانی، ۱۳۸۶)

تولید (kg)	معادل انرژی ستانده (MJ/kg)	انرژی ستانده کل (MJ)
۲۰۰۰	۲۵	۵۰۰۰۰

بنا به نتایج حاصله انرژی نهاده و ستانده، شاخص‌های انرژی در کشت کلزا در زیر می‌آیند:

- بهره وری انرژی: ۰/۰۴ کیلوگرم بر مگاژول انرژی نهاده
- بهره خالص انرژی: ۱۴۸۶/۲ مگاژول در هکتار
- نسبت انرژی: ۱/۰۳

در مطالعه‌ای که توسط ونتوری[1] و ونتوری در زمینه بررسی جریان انرژی محصولات مختلف زراعی در کشورهای اروپایی صورت گرفته، بیشترین میزان انرژی نهاده در کشت کلزا مربوط به عملیات خاکورزی و کود شیمیایی بوده و کل انرژی نهاده در محدوده ۳۷-۱۳ گیگاژول در هکتار گزارش شده است [۱۸]. انرژی ستانده در هکتار نیز با توجه به پراکندگی عملکرد، ۸۱/۶ -۱۶/۸ گیگاژول می‌باشد؛ در نتیجه نسبت انرژی برای این محصول و در این کشورها ۲/۲۱ -۱/۳۸ و بهره خالص انرژی ۴۴/۶ -۳/۸ گیگاژول در هکتار حاصل می‌گردد. در مطالعه پیش رو یکی از دلایل پایین بودن شاخص‌های انرژی در مقایسه با نتایج مطالعه مورد اشاره، مربوط به حجم بالای انرژی نهاده در کشت این محصول در منطقه می‌باشد؛ به نحوی که آبیاری با مجموع ۲۷۵۹۰/۶ مگاژول در هکتار، انرژی بسیار بالایی را در این زمینه به مصرف می‌رساند.

[1] Venturi

نتیجه گیری و پیشنهادها

در مورد کلزا، با توجه به متوسط عملکرد ۲ تن در هکتار و ۴۸۵۱۳ مگاژول انرژی نهاده، نسبت انرژی ۱/۰۳ و بهره خالص انرژی ۱۴۸۶ مگاژول در هکتار بدست مد. در این خصوص ۵۷ درصد از کل انرژی نهاده صرف آبیاری می‌شود. با توجه به بالا بودن درجه مکانیزاسیون عملیات زراعی مختلف در کشت کلزا، نهاده انسانی تنها ۰/۵ درصد از مجموع انرژی ورودی جهت تولید این محصول را شامل می‌شود. یکی از راه‌های بهینه کردن مصرف انرژی در این محصول، بررسی نیاز آبی گیاه در منطقه با توجه به شرایط و عوامل تأثیرگذار محیطی همچون میزان تبخیر و تعرق، نوع خاک، روش آبیاری و ... در کنار سنجش کارآیی سیستمهای مختلف آبیاری به صورت جامع می‌باشد تا در نهایت بدون اثرگذاری منفی بر روی میزان عملکرد، انرژی مصرفی به مقدار بهینه خود کاهش یابد. همچنین با توجه به حساسیت فوق العاده این محصول به ریزش دانه در هنگام برداشت، اصلاح ساختاری روش‌های برداشت به منظور حصول شرایطی که در آن تلفات دانه به حداقل خود کاهش یابد، امری ضروری محسوب شده و نیاز به مطالعات مفصل و جداگانه‌ای دارد.

فهرست منابع

۱. بهروزی لار، م. ۱۳۸۰. مدیریت تراکتور و ماشین‌های کشاورزی (ترجمه). چاپ سوم. مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران.
۲. عجب شیرچی، ی. ۱۳۸۵. مدیریت مصرف انرژی در کشاورزی. درس نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۳. کوچکی، ع و حسینی، م. ۱۳۷۳. ارآیی انرژی در اکوسیستم‌های کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
۴. کیهانی، ع. ۱۳۸۶. بررسی مقدماتی نهاده انرژی انسانی در پروژه‌های مکانیزاسیون کشاورزی. چهارمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون. ۸-۷ شهریور، تبریز.
5. Alam, M.S., Alam, M.R. and Islam, K.K. 2005. Energy flow in agriculture: Bangladesh. American Journal of Environmental Sciences, 1(3) 213-220.
6. Anonymous. 2005. ASAE Standards. American Society of Agricultural Engineering.
7. Batty, J.C., Keller, J. 1980. Energy requirements for irrigation. Handbook of Energy Utilization in Agriculture. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 35-54
8. Birthal, P.S., Pal, S. and Pandey, L.M. 1998. Energy demand for crops production in rain fed areas. Indian Journal of Agricultural Economics, 53(3): 256-264.
9. Canakci, M., Topackci, M., Akinci, I. and Ozmerzi, A. 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Antalya, Turkey. Energy Conversion and Management, 46: 655-666.
10. Clements, D. and Weise, R.S.F. 1995. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management systems. Agric Ecosystems Environ, 52: 119-123.
11. De, D., Singh, S. and Chandra H. 2001.Technological impact energy consumption in rain fed soybean cultivation in Madhya Pradesh. Appl. Energ., 70:193–213.
12. Hetz, E.J. 1992. Energy utilization in Chilean agriculture. Agric Mech Asia Africa Latin America (AMA) 23(2): 52–6.
13. Kepner, R.A., Bainer, R. and Barger, E.L. 1982. Principles of farm machinery. Third Edition. AVI Publishing Company, Inc.
14. Ozkan, B., Akcaoz, H. and Karadeniz, F. 2004. Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. Energy Convers Manag 45(11–12): 1821–30.
15. Pimentel, D., Pimentel, M. and Karpenstein-Machan, M. 1998. Energy use in agriculture: an overview.
16. Singh, G. 2006. Estimation of a mechanization index and its impact on production and economic factors: A case study in India. Biosystem Engineering, 93(1): 99-106.
17. Singh, J.M. 2002. On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. Thesis for Master of Science in Sustainable Energy Systems and Management, University of Flensburg, Germany.
18. Venturi, P. and Venturi, G. 2003. Analysis of energy for crops in European agricultural systems. Biomass and Bioenergy, 25: 235-355.
19. Witney, B. 1995. Choosing and Using Farm Machines. Land Technology Ltd, UK.
20. Yaldiz, O., Ozturk, H.H., Zeren, Y. and Bascetincelik, A. 1993. Energy usage in production of field crop in Turkey. 5th Int. Cong. on Mechanization and Energy Use in Agriculture, 11-14 Oct. Kusadasi, Turkey.