



به زراعی کشاورزی

دوره ۱۷ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۴
صفحه‌های ۴۳-۵۲

بررسی تراز انرژی زراعت گرچک در شهرستان ورامین به منظور تولید بیودیزل

عارفه رزازی^۱، مجید آقاعلیخانی^{۲*}، برات قبادیان^۳، بهنام زند^۴ و سید محمد صفی‌الدین اردبیلی^۵

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران - ایران.
۲. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران - ایران.
۳. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران - ایران.
۴. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، ورامین - ایران.
۵. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران - ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۱۲

چکیده

گرچک (*Ricinus communis* L.) با داشتن قابلیت تحمل شرایط سخت، نیاز تغذیه‌ای کم، محتوای ۵۰ درصدی و کیفیت مطلوب روغن، از بهترین گیاهان مورد استفاده در تولید بیودیزل است. اولین گام برای توسعه سطح زیرکشت این گیاه برای تولید بیودیزل، بررسی تراز انرژی در تولید آن است. در تحقیق حاضر با بررسی کلیه نهاده‌ها در دو سال کشت پیاپی (۹۲-۱۳۹۰) در منطقه ورامین استان تهران، انرژی‌های نهاده (اعم از تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) و ستانده محاسبه و شاخص‌های انرژی در این زمینه ارزیابی شدند. از مجموع ۱۱۲۴۵/۶۴ مگاژول انرژی به‌کاررفته در تولید گرچک، انرژی‌های تجدیدناپذیر و غیرمستقیم به‌ترتیب ۸۰/۹۶ و ۵۹/۶۸ درصد، بخش عمده انرژی مصرفی در تولید گرچک را تشکیل می‌دهند. همچنین از میان نهاده‌ها، کود و سم با ۵۵/۲۶ درصد از کل انرژی مصرفی رتبه اول، و پس از آن سوخت با ۲۱/۲۸ درصد، رتبه دوم را به خود اختصاص دادند. کارایی مصرف انرژی فقط برای تولید دانه ۳/۸۱ به‌دست آمد که در مقایسه با سایر گیاهان مورد استفاده برای تولید بیودیزل بسیار مطلوب و شایان توجه است. از این رو، به‌منظور گسترش کشت مکانیزه و کاهش هزینه‌های تولید گرچک، اصلاح نژاد توده‌های محلی موجود توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: انرژی، بهره‌وری، بیواتانول، ستانده، سوخت زیستی، نهاده.

۱. مقدمه

با گرچک و کشت آن در حواشی مزارع برای بهره‌مندی از مزایای آن، این گیاه در دو دهه اخیر به فراموشی سپرده شده و به‌همین دلیل، آمار دقیقی از سطح زیرکشت این گیاه در کشور در دسترس نیست.

از آنجا که بخش کشاورزی مصرف‌کننده و نیز تولیدکننده انرژی است، بررسی میزان تأثیر افزایش انرژی ورودی در تولید محصول از مهم‌ترین راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی است [۷]. گام نخست در این راستا، برآورد و ارزیابی شاخص‌های انرژی است. با شناخت عوامل مؤثر و چگونگی تأثیر آنها بر مقدار این شاخص‌ها در کنار بررسی امکان جایگزینی نهاده‌های شیمیایی و تجدیدنپذیر با منابع زیستی، آلی و تجدیدپذیر و با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی، امکان بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی وجود خواهد داشت.

مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی شامل دو بخش مصرف در مزرعه و خارج از مزرعه می‌شود. مصرف انرژی در مزرعه نیز به دو دسته مصرف مستقیم و مصرف غیرمستقیم تفکیک پذیر است. مواردی از قبیل سوخت مورد نیاز تراکتور و ماشین آلات مورد استفاده برای کلیه فعالیت‌ها شامل آماده‌سازی زمین، کشت، برداشت و ...، نیروی برق مصرف شده برای پمپ‌های آبیاری و ...، سوخت مورد استفاده در تأسیسات گرمایشی و خشک کردن محصول همگی نمونه‌هایی از استفاده مستقیم انرژی نهاده هستند. مصرف غیرمستقیم انرژی نیز شامل مواردی از قبیل انرژی مصرفی برای ساخت تجهیزات و زیرساخت‌های مزرعه، انرژی مورد نیاز برای ساخت ادوات و ماشین‌های کشاورزی، انرژی مصرفی در تولید کودها و سموم شیمیایی است. مصرف انرژی در خارج از مزرعه به فرآوری محصولات و حمل و نقل نیز تسری می‌یابد [۱۲]. همچنین از دیدگاه دیگر با توجه به فراوانی

در سال‌های اخیر کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، افزایش واردات سوخت و قیمت محصولات نفتی، مسائل زیست‌محیطی و افزایش آلاینده‌های ناشی از کاربرد این سوخت‌ها، سبب افزایش تحقیقات وسیعی برای یافتن سوخت‌های جایگزین مناسب شده است. بیودیزل یکی از این سوخت‌هاست که می‌توان آن را از روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی به‌دست آورد. از روغن‌های گیاهی پس از فرآوری می‌توان به‌طور مستقیم یا در اختلاط با سوخت دیزل استفاده کرد. کاربرد دانه‌های روغنی به‌منظور تولید بیودیزل مستلزم مثبت بودن انرژی به‌دست‌آمده در مقایسه با انرژی مصرفی برای تولید آن است که همبستگی قوی با انرژی ورودی برای تولید دانه روغنی مذکور دارد [۲۶، ۱۷، ۱۵].

گرچک^۱ از خانواده فریون^۲ با دارا بودن ویژگی‌های مطلوب، از مناسب‌ترین گیاهان مورد استفاده برای تولید سوخت گیاهی است. دانه‌های گرچک در حدود ۵۰ درصد روغن دارند که در مقایسه با سویا و پنبه که به ترتیب حاوی ۱۹ و ۲۰ درصد روغن هستند، برتری چشمگیری دارد. این گیاه به دلیل داشتن قدرت تحمل شرایط نامساعد خاکی، از جمله بافت نامناسب و حاصلخیزی اندک، برای کشت در زمین‌های حاشیه‌ای به‌منظور جلوگیری از بیابان‌زایی و فرسایش نیز بسیار مناسب است [۸، ۹]. اکثر مناطق ایران نیز با داشتن آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک، بستر مناسبی برای این گیاه است و می‌توان ضمن حفظ این مناطق از فرسایش به تولید سوخت و سودآوری از آنها نیز توجه کرد. به‌علاوه با قرار دادن گیاه گرچک در برنامه تناوب مزرعه می‌توان از مزایای آن در اکوسیستم‌های زراعی بهره‌مند شد. به‌رغم آشنایی کشاورزان سستی ایران

1. Ricinus communis L.
2. Euphorbiacea

زراعی به صورت مکانیزه انجام گرفت. به منظور آماده سازی بستر بذر، ابتدا شخم توسط گاوآهن برگردان دار سه خیش و سپس دیسک زنی در دو نوبت توسط دیسک ۲۸ پره صورت گرفت. کاشت بذر (به مقدار ۱۲ کیلوگرم در هکتار) با رسیدن میانگین دما روزانه دمای خاک به ۱۶ درجه سانتی گراد در سال های اول و دوم آزمایش به ترتیب در تاریخ ۴ و ۱۱ خرداد، به وسیله دستگاه خطی کار غلات ساخت شرکت سبز دشت اصفهان با عرض کار ۳ متر انجام گرفت. مقدار انرژی دانه گرچک براساس ترکیب شیمیایی آن (به طور متوسط ۵۰ درصد روغن و ۱۶ درصد پروتئین) تعیین شد [۲۳، ۲۹]. همچنین سم پاشی با سم پاش بوم دار پشت تراکتوری و کودپاشی به وسیله کودپاش سانتی فیلوژ و براساس مقادیر ذکر شده در جدول ۲ انجام گرفت. آبیاری نیز براساس نیاز گیاه و به طور متوسط هر ۱۰ روز یکبار صورت گرفت. متوسط نیاز آبی یکساله این گیاه با توجه به آب و هوای منطقه ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار مشاهده شده است [۸]، ولی به دلیل عدم اندازه گیری دقیق نیاز آبی این گیاه در کشور، در این آزمایش با توجه به شرایط جغرافیایی شهرستان ورامین که در منطقه خشک واقع شده است و اندازه گیری های انجام گرفته، نیاز آبی گرچک ۳۰۰۰ متر مکعب برآورد شد. همچنین در برآورد انرژی معادل آبیاری، تولید، استهلاک و سوخت پمپ آب در نظر گرفته شده است. وجین و تنک کردن محصول نیز در هر هکتار توسط سه نفر و در مدت زمان هشت ساعت (۲۴ نفر ساعت) به طول انجامید. برداشت غیرماشینی شامل عملیات چیدن خوشه ها در دو مرحله توسط چهار نفر و در مدت ۱۰ ساعت (۴۰ نفر ساعت) انجام گرفت. متوسط عملکرد با تراکم ۲۵۰۰۰ بوته در هکتار در حدود ۲۱۰۰ کیلوگرم دانه و ۹۰ تن در هکتار بیوماس است و از آنجا که بیوماس تولیدی نیز

انرژی در طبیعت و زمان لازم برای بازتولید آن، می توان انرژی به کار رفته در یک سیستم تولیدی را به دو دسته تجدیدپذیر نظیر نیروی کارگری و آب مورد نیاز آبیاری و تجدیدنپذیر مانند سوخت های فسیلی تقسیم کرد.

روابط انرژی نهاده و ستانده در سیستم زراعی، بسته به نوع محصول، نوع خاک، ماهیت عملیات خاکورزی، نوع و میزان کود های شیمیایی و آلی، عملیات داشت، برداشت و در نهایت سطوح عملکرد، تغییر می کند [۱۲]. هدف تحقیق حاضر، محاسبه و بررسی تراز انرژی تولید گیاه گرچک در استان تهران به عنوان منبع مناسبی برای تولید بیودیزل است.

۲. مواد و روش ها

در بسیاری از مقالات مشابه، داده های تحقیق از طریق پرسش نامه و یا مصاحبه با کشاورزان و مراکز خدمات کشاورزی فعال در کشت گیاه زراعی مورد نظر به دست می آید. در تحقیق حاضر با توجه به محدود بودن سطح زیرکشت گرچک و تصمیم نگارندگان برای بازشناسی و معرفی این گیاه به منطقه، تمامی داده های به کار رفته در این تحقیق به طور مستقیم از دو سال کشت پیاپی گیاه گرچک (۹۲-۱۳۹۱) در شهرستان ورامین (جنوب شرق استان تهران) به دست آمده است. این منطقه براساس طبقه بندی دومارتن در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۱۵ متری از سطح متوسط آب خلیج فارس قرار دارد و دارای آب و هوای خشک است. در این تحقیق، از بذرهای اکوتیپ موسوی که از پر بازده ترین اکوتیپ های شناسایی شده در کشور است، استفاده شد. سطح زیرکشت در هر سال ۲۰۰۰ متر مربع بود.

در زراعت گرچک، غیر از آبیاری، تنک کردن و برداشت که با نیروی انسانی صورت پذیرفت سایر عملیات

استهلاک عبارت است از کاهش ارزش اقتصادی ماشین در اثر گذشت زمان که در این تعریف نقش تورم تا حدودی نادیده گرفته می‌شود که ممکن است سبب ایجاد اشکالاتی به صورت تفاوت در ارزش واقعی روز ماشین و ارزش به دست آمده از ماشین شود. تعیین عمر دقیق ماشین، بسیار پیچیده است؛ با وجود این می‌توان عمر مفید تراکتور و ادوات کشاورزی را با در نظر گرفتن عوامل متعددی همچون کیفیت ساخت قطعات، نوع خاک، نوع محصول، شرایط اقلیمی و غیره برآورد کرد (جدول ۱). در مجموع با احتساب انرژی معادل برای هر واحد و رابطه ۱، انرژی معادل ساخت و استهلاک ابزار و ماشین آلات محاسبه شد. میزان سوخت مصرفی برای کل عملیات زراعی با توجه به متوسط سوخت مصرفی تراکتورهای فرگوسن چهارسیلندر (MF-285) و فرگوسن چهارسیلندر (MF-399)، تراکتور رایج مورد استفاده در منطقه، ۸/۹ لیتر در ساعت در نظر گرفته شد [۵]. به مقدار فوق متوسط سوخت لازم برای انتقال ماشین آلات به مزرعه نیز اضافه شده است. پس از برآورد نهاده‌های به کاررفته با استفاده از روابط ۲، ۳ و ۴ نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و بهره خالص انرژی محاسبه شد.

قابلیت تبدیل شدن به بیواتانول را دارد، انرژی ستانده و سایر شاخص‌ها، جداگانه برای عملکرد دانه و عملکرد دانه + بیوماس محاسبه شدند. انرژی معادل هر کیلوگرم بذر و بیوماس برداشت شده براساس ترکیبات آنها به ترتیب ۲۰/۴ و ۱۷/۶ مگاژول در نظر گرفته شد [۲۳، ۲۸].

در بخش نیروی انسانی، نیروی کارگری برای تکمیل فرایند کشت، آبیاری و سایر فعالیت‌های جنبی نیز دیده شده و انرژی مصرفی راننده تراکتور نیز در این بخش منظور شده است (جدول ۲). انرژی معادل مصرف شده در ماشین‌ها و ادوات کشاورزی نیز شامل انرژی مورد نیاز برای ساخت و استهلاک ابزار و ماشین آلات، انرژی مورد نیاز برای انتقال وسیله به مزرعه، انرژی معادل سوخت مصرفی و انرژی معادل تعمیر و نگهداری آنهاست که انرژی ساخت و استهلاک ماشین آلات با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد [۲۷].

$$M_{Pe} = GM_P T / W \quad (1)$$

در این رابطه، M_{Pe} انرژی ساخت و استهلاک (برحسب مگاژول)؛ G جرم ماشین (برحسب کیلوگرم)؛ M_P انرژی ساخت (بر حسب مگاژول بر کیلوگرم)؛ T ساعت کارکرد؛ و W عمر اقتصادی ماشین (برحسب ساعت) است.

جدول ۱. مشخصات تراکتور و ادوات کشاورزی استفاده شده در زراعت گرجک

نام وسیله	وزن (kg)	عمر اقتصادی (h)
تراکتور فرگوسن چهارسیلندر (MF-285)	۲۸۰۰	۱۰۰۰۰
گاواهن برگردان‌دار سه خیش	۳۲۵	۲۵۰۰
دیسک ۲۸ پره	۱۰۰۰	۲۵۰۰
کودپاش ساترئیفیوژ	۱۱۷	۱۲۰۰
خطی کار غلات با عرض کار ۳ متر	۶۸۰	۱۲۰۰
سم‌پاش بوم‌دار پشت تراکتوری	۱۵۰	۱۵۰۰

نسبت انرژی (EUE)^۱ یا کارایی مصرف انرژی (ER)^۲

این شاخص، رابطه بین انرژی ستانده و انرژی نهاده را بیان می‌کند و در رابطه ۲ نشان داده شده است [۱۰، ۱۳]:

(۲) انرژی نهاده/انرژی ستانده = نسبت انرژی

به دلیل اینکه در رابطه ۲، صورت و مخرج از یک بعد^۳ (انرژی برحسب مگاژول) هستند، نسبت انرژی شاخصی است بی‌بعد، بنابراین می‌توان آن را برای مقایسه هر نوع محصولی به کار برد.

بهره‌وری انرژی (EP)^۴

بهره‌وری انرژی، به کارگیری مطلوب‌ترین راهبرد برای بهره‌گیری از منابع انرژی از تولید تا مصرف است که به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود [۱۳]:

(۳)

انرژی نهاده / عملکرد وزنی محصول = بهره‌وری انرژی
واحد بهره‌وری انرژی، کیلوگرم بر مگاژول است و برای مقایسه تولید محصولی واحد در سیستم‌های مختلف تولید استفاده می‌شود و نشان‌دهنده کارایی هر سیستم است [۳]. همچنین این شاخص و شاخص انرژی ویژه برای نشان دادن میزان انرژی لازم برای تولید هر واحد محصول نیز به کار می‌روند.

بهره خالص انرژی (NEG)^۵

تفاوت بین میزان انرژی نهاده و ستانده با شاخصی به نام بهره خالص انرژی و طبق رابطه ۴ بیان می‌شود [۱۰]:

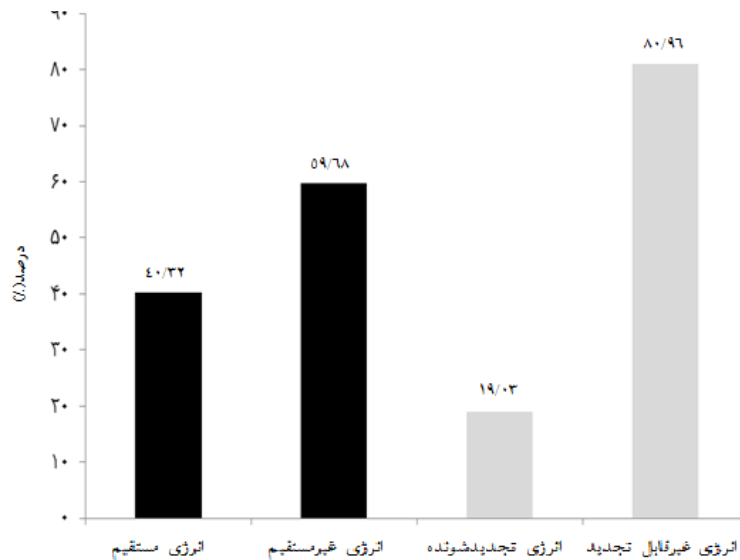
(۴) انرژی نهاده - انرژی ستانده = بهره خالص انرژی
بهره خالص انرژی میزان توسعه بالقوه انرژی است که در شرایط اقلیمی مختلف به نحوه مدیریت مزرعه و استفاده از شیوه‌های زراعی بستگی دارد.

۳. نتایج و بحث

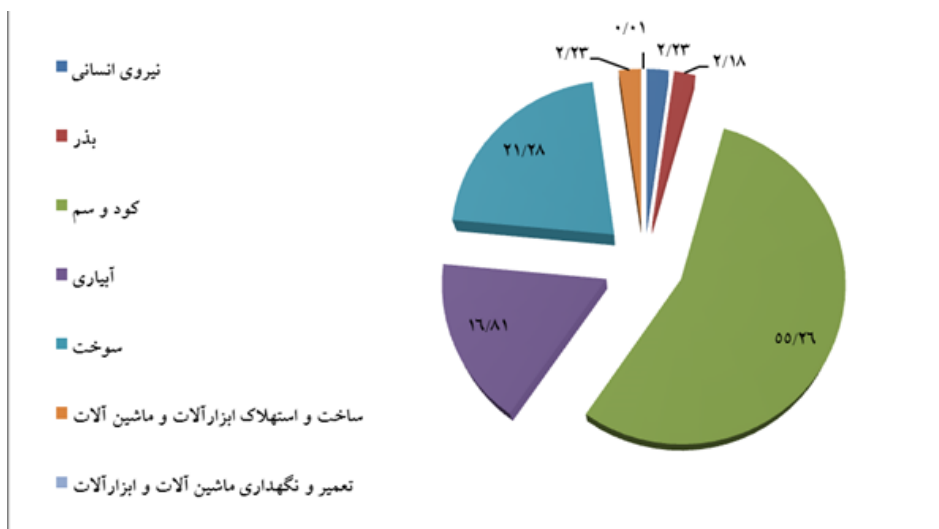
مجموع انرژی مصرفی (کل نهاده‌ها) در زراعت یکساله گرچک ۱۱۲۴۵/۶۴ مگاژول است. همچنین انرژی ستانده برای بذر و بیوماس تولیدی به ترتیب ۴۲۸۴۰، ۱۵۸۴۰۰۰ و در مجموع ۱۶۲۶۸۴۰ مگاژول است. این مقادیر در برخی گیاهان زراعی برای انرژی نهاده و ستانده به ترتیب ۳۱۹۰۴/۹۴ و ۳۵۰۵۳/۶۹ در پنبه [۱]، ۷۳۲۲۰/۴۲ و ۱۲۷۷۴۵/۲۳ در برنج [۶] و ۲۹۸۹۵/۴۹ و ۵۴۱۳۱ در سویا [۱۴] مشاهده شده است. از مجموع انرژی به‌کاررفته در این سیستم کشت تنها ۱۹/۰۳ درصد آن تجدیدپذیر است و بخش عمده آن را انرژی‌های تجدیدناپذیر تشکیل می‌دهند (شکل ۱). همچنین بخش اعظم انرژی استفاده‌شده در این سیستم تولیدی به صورت غیرمستقیم است.

از این میان، نهاده‌های مصرفی، کود و سم که جزء انرژی‌های تجدیدناپذیر و غیرمستقیم قرار می‌گیرند با سهم ۵۵/۲۶ درصدی از کل انرژی لازم در کشت گرچک، بیشترین انرژی مصرفی را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). بخش اعظم انرژی مورد نیاز در این بخش مربوط به کود نیتروژن (۴۱/۸۸ درصد) است. مصرف زیاد انرژی در این بخش از یک سو و افزایش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کودهای شیمیایی از سوی دیگر، لزوم توجه به منابع آلی تأمین عناصر غذایی نظیر کمپوست‌ها را بیشتر نشان می‌دهد [۲]. همچنین در خاک‌های قلیایی کشور که مشکل تثبیت فسفر در خاک وجود دارد با کاربرد ورمی‌کمپوست (به‌عنوان یک منبع آلی) و سولفور می‌توان سبب آزادسازی فسفر از لایه‌های سخت فسفری شد و نیاز گیاه را تأمین کرد [۲۱، ۲۲].

1. Energy Use Efficiency
2. Energy Ratio
3. Dimension
4. Energy Productivity
5. Net Energy Gain



شکل ۱. دسته‌بندی انرژی مصرفی در تولید گوجه در منطقه ورامین



شکل ۲. سهم نهاده‌ها (درصد) از انرژی مصرفی در تولید گوجه

زیست محیطی ناشی از کودهای شیمیایی از سوی دیگر، لزوم توجه به منابع آلی تأمین عناصر غذایی نظیر کمپوست‌ها را بیشتر نشان می‌دهد [۲]. همچنین در خاک‌های قلیایی کشور که مشکل تثبیت فسفر در خاک وجود دارد با کاربرد ورمی‌کمپوست (به عنوان یک منبع آلی) و سولفور می‌توان سبب آزادسازی فسفر از لایه‌های سخت فسفوری شد و نیاز گیاه را تأمین کرد [۲۱، ۲۲].

از این میان، نهاده‌های مصرفی، کود و سم که جزء انرژی‌های تجدیدناپذیر و غیرمستقیم قرار می‌گیرند با سهم ۵۵/۲۶ درصدی از کل انرژی لازم در کشت گوجه، بیشترین انرژی مصرفی را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). بخش اعظم انرژی مورد نیاز در این بخش مربوط به کود نیتروژن (۴۱/۸۸ درصد) است. مصرف زیاد انرژی در این بخش از یک سو و افزایش مشکلات

بررسی تراز انرژی زراعت گرچک در شهرستان ورامین به منظور تولید بیودیزل

جدول ۲. انرژی معادل و مصرفی نهاده‌ها و درصد سهم آنها از انرژی کل در زراعت فاریاب گرچک

درصد سهم از انرژی معادل کل	انرژی معادل (MJ)	منبع	میزان انرژی معادل هر واحد (MJ)	میزان نهاده به کاررفته	زیرمجموعه‌ها	عنوان نهاده
۲/۲۳	۲۵۰/۸	۲۳	۲/۲۰	۱۱۴	کارگری و راننده	نیروی انسانی (h)
۲/۱۸	۲۴۴/۸	۲۳	۲۰/۴	۱۲	نیترژن از منبع اوره	بذر (kg)
۴/۱۸۸	۴۷۱۰	۱۲	۴۷/۱۰	۱۰۰	فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل	
۳/۵۱	۳۹۵	۱۲	۱۵/۸۰	۲۵	پتاس از منبع سولفات پتاسیم	
۳/۷۱	۴۱۷/۶	۱۲	۹/۲۸	۴۵	گوگرد از منبع سولفات پتاسیم	کود و سم (kg)
۲/۲۴	۲۵۲	۲۴	۶/۳۰	۴۰	ترفلان	
۲/۲۷	۲۵۵	۲۵	۸۵	۳	دیازینون	
۱/۶۴	۱۸۴/۷	۲۳	۱۸۴/۷۰	۱	-	آبیاری (m ³)
۱۶/۸۱	۱۸۹۰	۱۹	۰/۶۳۰	۳۰۰۰	کلیه عملیات کشاورزی و حمل به مزرعه	سوخت (l)
۲/۱۲۸	۲۲۹۳/۲	۲۳	۳۸/۶۰	۶۲	تراکتور	
۱/۴۰	۱۵۷/۲۶	۱۸	۹۳/۶۱	*	گاوا آهن برگردان‌دار	
۰/۰۷	۸/۱۵	۱۳	۶۲/۷۰	*	دیسک	ساخت و استهلاک ابزارآلات و ماشین‌آلات (kg)
۰/۳۳	۳۷/۶۲	۱۳	۶۲/۷۰	*	سمپاش	
۰/۰۳	۳/۱۴	۱۳	۶۲/۷۰	*	کودپاش	
۰/۰۸	۹/۱۷	۱۳	۶۲/۷۰	*	خطی کار	
۰/۳۲	۳۵/۵۳	۱۳	۶۲/۷۰	*	تراکتور	
۰/۰۱	۰/۸۱	۱۶	۰/۴۸	+	گاوا آهن برگردان‌دار	
۰/۰۱	۰/۱۳	۱۶	۰/۹۷	+	دیسک	تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات و ابزارآلات (kg)
۰/۰۰۳	۰/۳۳	۱۶	۰/۵۵	+	سمپاش	
۰/۰۰۰۲	۰/۰۲	۱۶	۰/۳۷	+	کودپاش	
۰/۰۰۰۷	۰/۰۸	۱۶	۰/۵۵	+	خطی کار	
۰/۰۰۳	۰/۳۱	۱۶	۰/۵۵	+	خطی کار	

* انرژی ساخت و استهلاک ماشین‌آلات با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

+ برای محاسبه انرژی تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات و ادوات صراحتی وجود دارد که این صراحت بسته به شرایط محیطی مزرعه، سطح آموزش نیروی انسانی و نوع ساخت هر ماشین متغیرند. بر این اساس در هر منطقه و هر شرایطی باید با توجه به میزان استفاده از ماشین‌آلات انرژی تعمیر و نگهداری را محاسبه کرد (۳).

استفاده برای تولید بیودیزل پتانسیل این گیاه برای تولید بیودیزل بیش از پیش آشکار می‌شود. در آزمایش‌های جداگانه کارایی مصرف انرژی برای سویا فقط برای دانه تولیدی $1/60$ و با احتساب بیوماس تولیدی $5/41$ و برای کلزا $1/03$ به دست آمد [۴،۲۰]. از آنجا که حجم بیوماس تولیدی این گیاه زیاد بوده و بیوماس تولیدی نیز برای تولید بیواتانول قابل استفاده است، پتانسیل زیادی برای توسعه انرژی دارد. در این تحقیق نیز بهره خالص انرژی که حاصل تفاضل انرژی ستانده و نهاده است در دو سیستم محاسبه با و بدون بیوماس تولیدی به ترتیب $1615594/36$ و $31594/36$ مگاژول بود که گویای مزیت گرچک بر دیگر گیاهان روغنی به منظور تولید انرژی‌های زیستی است. بهره‌وری انرژی نیز در زراعت گرچک در صورت استفاده از بیوماس تولیدی $8/19$ و در صورتی که تنها از دانه آن استفاده شود، $0/19$ کیلوگرم بر مگاژول است. از آنجا که این تحقیق برای اولین بار در کشور انجام گرفته است، اطلاعاتی برای مقایسه این سیستم با سیستم‌های داخلی دیگر وجود ندارد، اما در تحقیقی مشابه در برزیل بهره‌وری انرژی فقط با در نظر گرفتن عملکرد دانه در دو سیستم مختلف سنتی و مکانیزه کاشت به ترتیب $0/02$ و $0/14$ کیلوگرم بر مگاژول مشاهده شد [۲۳]. در تحقیق صورت گرفته در برزیل، تنها انرژی مربوط به دانه‌ها محاسبه شد. همچنین عملکرد واریته‌های بومی استفاده شده در مقایسه با عملکرد توده‌های بومی ایران بسیار اندک (850 و 1500 کیلوگرم در هکتار) بود. این نتیجه نشان‌دهنده لزوم توجه به اصلاح توده‌های موجود به منظور تسهیل کشت مکانیزه است.

۴. نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به مزایای منحصربه‌فرد گرچک و کارایی زیاد مصرف انرژی در تولید آن، توسعه کشت این

پس از کود و سم، سوخت و آبیاری به ترتیب با مصرف $21/28$ و $16/81$ درصد از انرژی کل، مهم‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی در زراعت گرچک محسوب می‌شوند (شکل ۲). این دو نهاده جزو انرژی‌های مستقیم هستند، هرچند سوخت فسیلی تجدیدناپذیر و آب مورد استفاده در آبیاری تجدیدپذیر است. همین مصرف زیاد انرژی برای سوخت لزوم توجه به تولید انبوه گیاهان مناسب برای تولید بیودیزل را بیش از پیش نشان می‌دهد. پس از تولید بیودیزل و استفاده از آن در ماشین‌آلات به‌کاررفته در مزرعه می‌توان انرژی و هزینه تمام‌شده هر لیتر بیودیزل تولیدی را به‌طور چشمگیری کاهش داد. از سوی دیگر، با توجه به نیاز آبی کم و مقاومت زیاد گرچک به خشکی [۸]، استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار که مصرف آب را تا حد زیادی کاهش می‌دهند، می‌تواند در کاهش مصرف انرژی این بخش اثر بسزایی داشته باشد. بخش نیروی کارگری درصد زیادی از مصرف انرژی را شامل نمی‌شود، ولی از آنجا که کل فرایند برداشت این محصول در کشور به صورت دستی است، سبب افزایش هزینه‌های تولیدی می‌شود. به‌علاوه، این گیاه به دلیل داشتن ریسین و سایر آلکالوئیدها، حساسیت‌زا و سمی است و ممکن است در حین کار مشکلاتی را برای کارگران ایجاد کند. به‌همین دلیل، شروع کارهای اصلاحی برای تولید ارقام پاکوتاه از توده‌های محلی یا انطباق اکولوژیک ارقام پاکوتاه موجود در دنیا برای کشت در داخل کشور توصیه می‌شود.

کارایی مصرف انرژی این سیستم کشت با منظور کردن بیوماس تولیدی $144/66$ و تنها برای دانه تولیدشده $3/81$ به دست آمد. همان‌طور که پیشتر نیز ذکر شد نسبت انرژی یا کارایی مصرف انرژی شاخصی است که از آن برای مقایسه سیستم‌های مختلف می‌توان استفاده کرد. با مقایسه این شاخص برای گرچک و سایر گیاهان روغنی قابل

۵. وجدانی هریس ف و محاجردوست و (۱۳۸۷) محاسبه زمان مناسب کاری و تعداد ادوات لازم برای انجام به موقع عملیات و مقایسه انرژی مصرف شده تحت دو سیستم متفاوت کشت در استان قزوین. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. ایران - مشهد. ۶ و ۷ شهریور.
6. AghaAlikhani M, Kazemi-Poshtmasari H and Habibzadeh F (2013) Energy use pattern in rice production: A case study from Mazandaran province, Iran. *Energy Conversion and Management*. 69: 157-162.
7. Alam MS, Alam MR and Islam KK (2005) Energy flow in agriculture. *Environmental Science*. 1(3): 213- 220.
8. Anonymous (2011) Castor bean (*Ricinus communis* L.) an international botanical answer to biodiesel production and renewable energy. Available on [http://www.dovebiotech.com/pdf/CASTOR%20BEAN%20RICINUS%20COMMUNIS\)%20-%20BIODIESEL.pdf](http://www.dovebiotech.com/pdf/CASTOR%20BEAN%20RICINUS%20COMMUNIS)%20-%20BIODIESEL.pdf).
9. Balwin BS and Cossar RD (2009) Castor yield in response to planting date at four locations in the south-central United States. *Industrial Crop and Products*. 29: 316-319.
10. Banaeian N, Omid M and Ahmadi H (2011) Energy and economic analysis of greenhouse strawberry production in Tehran province of Iran. *Energy Conversion and Management*. 52: 1020-1025.
11. Birtal PS, Pal S and Pandey LM (1998) Energy demand for crops production in rain fed areas. *Agricultural Economics*. 53(3): 256-264.
12. 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.
- گیاه به‌عنوان ماده اولیه تولید بیودیزل گام مؤثری در استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر است. از طرف دیگر ثبت ارقام محلی، اجرای تحقیقات اصلاحی برای تولید ارقام پاکوتاه به‌منظور تسهیل طراحی ماشین‌آلات مورد نیاز و ارقام دارای کارایی فتوسنتزی بیشتر، جایگزینی تدریجی کودهای شیمیایی با آلی، استفاده از شیوه‌های مؤثرتر در توزیع کود و سم که کاهش استفاده از این نهاده‌ها را در پی دارد، از راهکارهای مهم در گسترش کشت این گیاه همراه با رعایت اصول اکولوژیک است [۱، ۶، ۱۱، ۱۴، ۳۰].

منابع

۱. احمدی م و آقاعلیخانی م (۱۳۹۱) تجزیه و تحلیل مصرف انرژی در زراعت پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در استان گلستان به منظور ارائه راهکار جهت افزایش بهره‌وری منابع. بوم‌شناسی کشاورزی. (۴): ۱۵۱-۱۵۸.
۲. رضوانی مقدم پ، برومند رضازاده ز، محمدآبادی ع ا و شریف ع (۱۳۸۷) اثر تاریخ کاشت و تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن دانه گیاه گرجک. پژوهش‌های زراعی ایران. (۶): ۳۱۳-۳۰۳.
۳. عجب شیرچی ی (۱۳۸۵) مدیریت مصرف انرژی در کشاورزی. درس‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز. ۷۴ ص.
۴. محمدیان صبور پ، رنجبر ا و عجب شیرچی ی (۱۳۸۷) مطالعه و ارزیابی شاخص‌های انرژی و ارائه راهکارهایی به‌منظور بهبود کاربرد نهاده‌های مکانیزاسیون کشت کلزا در شهرستان مشهد. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. ایران - مشهد. ۶ و ۷ شهریور.

13. De D, Singh S and Chandra H (2001) Technological impact energy consumption in rain fed soybean cultivation in Madhya Pradesh. *Applied Energy*. 70: 193-213.
14. Dehshiri A and Aghaalkhani M (2012) Input-output and economic analysis of soybean production in the main cultivation areas in Iran. *Agricultural Research*. 7(35): 4894-4899.
15. Djevic M and Dimitrijevic A (2009) Energy consumption for different greenhouse constructions. *Energy*. 34: 1325-1331.
16. Fluck RC (1992) *Energy in farm production*. Elsevier Science. 368p.
17. Ghobadian B and Rahimi H (2004) Biofuels-Past, Present and Future Perspective. The 3th International Iran and Russia Conference. Shahrekord, Iran, September 8-10.
18. Hetz EJ (1992) Energy utilization in Chilean agriculture. *Agricultural Mechanization Asia Africa Latin America*. 23(2): 52-60.
19. Kizilaslan H (2009) Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Applied Energy*. 86: 1354-1358.
20. Mandal KG, Saha KP, Ghosh PK, Hatia KM and Bandyopadhyay KK (2002) Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy*. 23: 337-345.
21. Mohammady Aria M, Lakzian A, Haghnia GH, Berenji AL, Besharati H, and Fotovat A (2010) Effect of Thiobacillus, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. *Bioresource Technology*. 101: 551-554.
22. Nishanth D and Biswas DR (2008) Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Bioresource Technology*. 99: 3342-3353.
23. Nunes da Silva A, Romanelli TA and Reichardt K (2010) Energy flow in castor bean (*Ricinus communis* L.) production systems. *Scientia Agricola*. 67: 737-742.
24. Pimentel D (2006) Impacts of Organic Farming on the Efficiency of Energy Use in Agriculture. Available on <http://organic-center.org/reportfiles/EnergyReport.pdf>.
25. Pishgar-Komleh SA, Keyhani A, Mostofi-Sarkari MR and Jafari A (2012) Energy and economic analysis of different seed corn harvesting systems in Iran. *Energy*. 43: 469-476.
26. Santana GCS, Martins PF, De Lima da Silva N, Batistella CB, MacielFilho R, and Wolf Maciel MR (2010) Simulation and cost estimate for biodiesel production using castor oil. *Chemical Engineering Research and Design*. 88: 626-632.
27. Singh JM (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.
28. Tsatsarelis CA (1991) Energy requirement for cotton production in central Greece. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 50: 239-246.
29. Weiss EA (2000) *Oil Seed Crop*. Longman, New York. 660 p.
- Witney B (1995) *Choosing and Using Farm Machines*. Longman Higher Education, UK. 432 p.