



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"

دوره دهم، شماره ۱۸، بهار و تابستان ۱۴۰۴

<http://arpe.gonbad.ac.ir>

ارزیابی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندر قند در شهرستان گرگان

حسن حبیبی^۱، محمد ملکان^۲، مسعود تاجی^{۳*}

^۱استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد

^۲دانش آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد

^۳کارشناس ارشد موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱

چکیده

مقدمه: در عصر کنونی تخریب اکولوژیکی، منابع تخلیه شده و منابع غذایی ناکافی، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) با دوام طولانی مدت سیستم‌های کشاورزی مرتبط است. در تکامل از کشاورزی سنتی به مدرن، مصرف انرژی تجاری به شدت با افزایش هزینه تولید و کاهش ذخایر انرژی افزایش یافت. هم انرژی مستقیم و هم مصرف انرژی غیرمستقیم به افزایش عمده در تولید غذا کمک کرده اند. انرژی مستقیم برای انجام وظایف مختلف مربوط به فرآیندهای تولید محصول مانند آماده سازی زمین، آبیاری، بین کشت، خرمین کوبی، برداشت و حمل و نقل نهاده های کشاورزی و محصولات کشاورزی مورد نیاز است. مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی یک سیستم کشت عمدتاً به عواملی مانند نوع خاک، ماشین‌آلات، برق، سوخت های فسیلی، مواد شیمیایی، کودها، برداشت و عملیات پس از برداشت بستگی دارد. شیوه‌های مدیریت محصول نیز می‌تواند مفید باشد و نقش مهمی در افزایش بهره‌وری انرژی ایفا کند. ارزیابی انرژی در سیستم‌های کشاورزی می‌تواند فناوری‌های کشاورزی سازگار با محیط زیست و کارآمد انرژی را توسعه و بهبود بخشد. مکانیزاسیون کشاورزی، افزایش استفاده از کودها و افزایش آبیاری همگی به افزایش قابل توجه مصرف انرژی در کشاورزی منجر است کشاورزی فشرده به یکی از دلایل اصلی بحران های انرژی و اثرات گرمایش جهانی که امروزه مشاهده می کنیم، تبدیل شده است و قابل توجه است که به عنوان تهدیدی برای توسعه کشاورزی پایدار در نظر گرفته شود.

مواد و روش‌ها: مطالعه‌ای به منظور بررسی میزان مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندر قند در شهرستان گرگان صورت گرفت. این تحقیق در ۲۵ مزرعه از مزارع تولید چغندر قند در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ انجام شد. در مرحله اول پس از انتخاب مزارع مورد نظر، یکایک عملیات زراعی ثبت شد. همچنین میزان مصرف نهاده‌ها نیز در هر

*نویسنده مسئول: tajimasoud65@yahoo.com

مزرعه یادداشت‌برداری شد. در نهایت میزان عملکرد در مزارع مورد بررسی ثبت گردید. در مرحله دوم بر اساس مقدار مصرف سوخت و نهاده‌های مصرفی در هر نوع از عملیات زراعی انجام شده و با در نظر گرفتن ضرایب مربوط به آن میزان انرژی ورودی و تولید گازهای گلخانه‌ای در هر هکتار آنالیز شد.

نتایج: براساس نتایج برای تولید هر هکتار چغندر قند به ۲۴۰ لیتر گازوئیل و ۲۵۴۷۶ مگاژول انرژی نیاز بود که این مصرف از انرژی موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۲۶۸۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن شد. میزان انرژی خروجی نیز ۲۰۲۵۰۰ مگاژول بر هکتار به دست آمد. بر این اساس نسبت انرژی خروجی به ورودی ۷/۹۴ محاسبه شد. همچنین انرژی خالص چغندر قند ۱۷۷۰۲۴ مگاژول بر هکتار، بهره‌وری انرژی ۱/۹۲ کیلوگرم بر مگاژول و انرژی ویژه ۰/۵۲ مگاژول بر کیلوگرم ارزیابی گردید. بر اساس نتایج برای تولید هر هکتار چغندر قند، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۶۸۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن ارزیابی شد. همچنین به طور متوسط در هر هکتار تولید چغندر قند به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی ۱۰۵ گرم گازهای گلخانه‌ای انتشار یافت که این میزان برای انرژی خروجی معادل ۱۳ گرم تخمین زده شد.

نتیجه‌گیری کلی: در نهایت می‌توان گفت که مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنی و همچنین مصرف سوخت‌های فسیلی بخش مهمی از مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند که با بهینه‌سازی مصرف آنها می‌توان گام مهمی در کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید محصول چغندر قند برداشت.

واژه‌های کلیدی: انتشار گازهای گلخانه‌ای، انرژی خروجی، انرژی ورودی، سوخت، کودهای شیمیایی

مقدمه

در عصر کنونی تخریب اکولوژیکی، منابع تخلیه شده و منابع غذایی ناکافی، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) با دوام طولانی مدت سیستم‌های کشاورزی مرتبط است. در تکامل از کشاورزی سنتی به مدرن، مصرف انرژی تجاری به شدت با افزایش هزینه تولید و کاهش ذخایر انرژی افزایش یافت. هم انرژی مستقیم و هم مصرف انرژی غیرمستقیم به افزایش عمده در تولید غذا کمک کرده اند (Guru et al., 2018). انرژی مستقیم برای انجام وظایف مختلف مربوط به فرآیندهای تولید محصول مانند آماده‌سازی زمین، آبیاری، بین کشت، خرم‌ن کوبی، برداشت و حمل و نقل نهاده‌های کشاورزی و محصولات کشاورزی مورد نیاز است. از سوی دیگر، انرژی غیرمستقیم شامل انرژی مورد استفاده در ساخت، بسته‌بندی و حمل و نقل کودها، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات کشاورزی است (Lal et al., 2020). مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی یک سیستم کشت عمده‌تاً به عواملی مانند نوع خاک، ماشین‌آلات، برق، سوخت‌های فسیلی، مواد شیمیایی، کودها، برداشت و عملیات پس از برداشت بستگی دارد. شیوه‌های مدیریت محصول نیز می‌تواند مفید باشد و نقش مهمی در افزایش بهره‌وری انرژی ایفا کند. از آنجایی که استفاده بهینه از منابع انرژی از نظر افزایش تولید، بهره‌وری، رقابت‌پذیری کشاورزی و همچنین پایداری زندگی روستایی حیاتی است، حسابرسی انرژی یکی از رایج‌ترین رویکردها برای بررسی کارایی انرژی و اثرات زیست‌محیطی سیستم تولید است (Shrivastava et al., 2022).

ارزیابی انرژی در سیستم‌های کشاورزی می‌تواند فناوری‌های کشاورزی سازگار با محیط زیست و کارآمد انرژی را توسعه و بهبود بخشد (Mallepu et al., 2024). مکانیزاسیون کشاورزی، افزایش استفاده از کودها و افزایش آبیاری همگی به افزایش قابل توجه مصرف انرژی در کشاورزی منجر است (Ghosh et al., 2022). کشاورزی فشرده به یکی از دلایل اصلی بحران‌های انرژی و اثرات گرمایش جهانی که امروزه مشاهده می‌کنیم، تبدیل شده است و قابل توجهیه است که به عنوان

تهدیدی برای توسعه کشاورزی پایدار در نظر گرفته شود (Yadav et al., 2020). مطالعات متعددی بر روی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای محصولات زراعی صورت گرفته است از جمله اسلامی و همکاران (Eslami et al., 2012) در ارزیابی کارایی مصرف انرژی در مزارع چغندر قند جنوب استان آذربایجان غربی گزارش کردند که کارایی مصرف انرژی برای شکر سفید ۰/۹ و برای غده‌های چغندر قند، ۱/۶۱ بوده است. بیشترین مصرف انرژی در مصرف الکتریسته برای آبیاری و مصرف کودهای نیتروژنی مشاهده شد. همچنین باران و کاگدوگان (Baran and Gokdogan, 2016) با بررسی مصرف انرژی تولید چغندر قند در یکی از استان‌های ترکیه گزارش کردند که مجموع انرژی ورودی و خروجی به ترتیب ۳۴۲۰۱ و ۲۸۵۶۰۰ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. انرژی کودهای شیمیایی، سوخت فسیلی، آبیاری، الکتریسته، نیروی انسانی، ماشین آلات، بذر و سموم شیمیایی به ترتیب با ۴۱/۹۷، ۲۱/۱۶، ۱۱/۹۷، ۱۱/۹۶، ۶/۴۷، ۵/۵۳، ۰/۶۱ و ۰/۳۳ درصد، بیشترین تا کمترین سهم را در مصرف انرژی ورودی نشان دادند. کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص به ترتیب ۸/۳۵، ۱/۹۸ کیلوگرم بر انرژی، ۰/۵۰ مگاژول بر کیلوگرم و ۲۵۱۳۹۸ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. کشت محصول چغندر قند در سال‌های اخیر به تازگی در شهرستان گرگان رواج یافته است و سطح زیر کشت آن برابر با ۴۰۰ هکتار می‌باشد. از این رو بررسی مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در این محصول ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

در سال ۹۸-۱۳۹۷، تعداد ۱۵ مزرعه با هدف ارزیابی مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت و تولید چغندر قند در شهرستان گرگان با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز توسط مصاحبه به صورت چهره به چهره با تولیدکنندگان این محصول و انجام یادداشت برداری از کلیه عملیات زراعی گردآوری گردید. بعد از انجام ثبت اطلاعات ذکر شده در هر مزرعه، ارزیابی جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت گرفت. انرژی مستقیم و انرژی غیر مستقیم نیز محاسبه گردید. انرژی‌های مصرف سوخت، نیروی انسانی، کاربرد ادوات و ماشین‌آلات، سموم، کودهای شیمیایی و بذر بر اساس ضرایب مربوطه محاسبه شدند. میزان انرژی خروجی نیز با توجه به عملکرد غده چغندر قند محاسبه شد. همچنین شاخص‌های انرژی از جمله شاخص کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و عملکرد انرژی خالص نیز محاسبه گردید. به منظور بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای از شاخص پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) استفاده شد. این شاخص عبارت از مجموع گازهای گلخانه‌ای تولید شده می‌باشد که به صورت معادل دی‌اکسید کربن بیان می‌شود. در این تحقیق برای محاسبه GWP، انتشار سه گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروس و متان ناشی از مصرف انرژی برای تولید نهاده‌های کشاورزی و انجام عملیات مختلف زراعی مد نظر قرار گرفت. نهاده‌ها و عملیات مورد نظر شامل: تولید، بسته‌بندی و انبارداری کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، سموم علف‌کش و حشره‌کش، مصرف سوخت‌های فسیلی برای انجام عملیات زراعی، تولید و نگهداری ماشین‌های کشاورزی بودند. در نهایت کلیه محاسبات با استفاده از صفحه‌گستر اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

مستندسازی فرآیند تولید چغندر قند: نتایج نشان داد مساحت مزارع چغندر قند از ۲ تا ۵۰ هکتار متغیر بود که در این بین ۸۰ درصد مساحت مزارع در کمتر از ۱۰ هکتار قرار داشتند. بیشترین محصولاتی که قبل از چغندر قند کشت شد، محصولات برنج و ذرت علوفه‌ای بود که ۵۰ درصد از مزارع را شامل شد. کاشت چغندر قند عمدتاً از اواخر مهر آغاز گردید و

تا ۱۰ آبان پایان پذیرفت. کلیه کشاورزان جهت بسترسازی اولیه کشت چغندر قند یک‌بار شخم‌زنی کردند. تعداد دفعات خاک‌ورزی ثانویه در کشت چغندر قند ۱ تا ۵ بار ثبت گردید. بیشترین وسیله کشت در کشت چغندر قند ردیف کار ثبت شد. میزان بذر مصرفی در کشت چغندر قند توسط کشاورز ۲ کیلوگرم در هکتار بود. رقم مونتانا تنها رقم استفاده در کشت چغندر قند بود. در مجموع کشاورزان، ۲/۸۰ دفعه (به صورت پایه و سرک)، مزارع چغندر قند خود را کود پاشی نمودند. اغلب کشاورزان از کود اوره علاوه بر کود پایه به عنوان کود سرک نیز استفاده نمودند. کودهای سرک عمدتاً در زمان ۸-۶ برگی و اواخر فروردین استفاده شد که کشاورزان به طور متوسط ۱/۹۰ دفعه اقدام به سرک‌پاشی نمودند. در مجموع ۲ نوع سم علف‌کش شامل پیرامین و بتانال ثبت شد. از سم‌پاش تراکتوری برای کنترل علف‌های هرز قبل از کاشت و سم‌پاش بوم‌دار پس از سبز شدن استفاده شد. کشاورزان در مجموع ۳ مرتبه مزارع خود را آبیاری کردند که اولین آن پس از کشت چغندر قند و به منظور سبز شدن گیاهچه‌ها و دو مرتبه بعدی در ماه خرداد صورت گرفت که ۵۰ درصد از گازوییل و ۵۰ درصد از الکتریسیته استفاده کردند. برداشت چغندر قند از ۱ تا ۱۰ تیر انجام گرفت. در مجموع به طور متوسط از هر هکتار ۴۵-۵۵ تن غده با میانگین ۵۰ تن برداشت شد.

مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از نهاده‌ها: نتایج نشان داد بیشترین میزان مصرف انرژی متعلق به کاربرد کودهای شیمیایی و سوخت فسیلی برای عملیات زراعی و آبیاری بود که در ادامه ماشین‌آلات، سموم شیمیایی، نیروی انسانی و الکتریسیته قرار داشتند. از طرفی نیز بیشترین تا کمترین انتشار گازهای گلخانه‌ای به ترتیب متعلق به ماشین‌آلات، کودهای شیمیایی، سوخت فسیلی برای عملیات زراعی و آبیاری، سموم شیمیایی و الکتریسیته بود (جدول ۱). ارزیابی مصرف انرژی در تولید چغندر قند در یکی از استان‌های ترکیه نشان داد که انرژی کودهای شیمیایی، سوخت فسیلی، آبیاری، الکتریسیته، نیروی انسانی، ماشین‌آلات، بذر و سموم شیمیایی به ترتیب با ۴۱/۹۷، ۲۱/۱۶، ۱۱/۹۶، ۱۱/۹۶، ۶/۴۷، ۵/۵۳، ۰/۶۱ و ۰/۳۳ درصد، بیشترین تا کمترین سهم را در مصرف انرژی ورودی را داشتند (Baran and Kagdogan, 2016). در تولید چغندر قند نیز تنها ۱۰۰ مگاژول انرژی ناشی از بذر مصرف شد که کمتر از یک درصد از مجموع انرژی را به خود اختصاص داد (جدول ۱). بررسی نتایج مصرف انرژی در بخش کودهای شیمیایی نشان داد که در تولید چغندر قند ۳۹/۳ درصد از مجموع انرژی مصرفی به مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کود نیتروژنه تعلق گرفت که سهم کودهای نیتروژنه، فسفره و پتاسه به ترتیب ۸۳، ۱۰ و ۶ درصد بود (جدول ۲). هیچ‌گونه کود آلی نیز در مزارع مورد بررسی مصرف نشد. از آنجایی که کاربرد کودهای نیتروژنه ۳۳ درصد مسئول مصرف انرژی و ۲۵ درصد عامل انتشار گازهای گلخانه‌ای بودند، بنابراین کاهش مصرف کودهای نیتروژنه می‌تواند نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندر قند داشته باشد. گاروفالو و همکاران (Garofalo et al., 2020) دریافتند که مصرف کود نیتروژنی بیشترین اثر را در افزایش انرژی ورودی در کشت چغندر قند داشت. سلطان‌پناه و همکاران (Soltanpanahi et al., 2013) نیز با بررسی مصرف انرژی در تولید چغندر قند گزارش کردند که مصرف کودهای شیمیایی بیشترین سهم را در مصرف انرژی با ۴۶/۶ درصد داشتند. اردال و همکاران (Erdal et al., 2007) نیز این سهم را ۴۹/۳۳ درصد تخمین زدند. در تولید هر هکتار چغندر قند در بخش مصرف سموم شیمیایی که فقط علف‌کش به کار رفته بود نیز ۱۳۳۴ مگاژول انرژی صرف شد و ۲۱۶/۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- مقدار نهاده‌های مصرف‌شده، انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از نهاده‌ها در تولید چغندرچند در گرگان
Table 1- Amount of inputs consumed, energy consumed, and greenhouse gas emissions from inputs in sugar beet production in Gorgan.

انتشار گازهای گلخانه‌ای Greenhouse gas emissions (kg CO2 equivalent per hectare)	مصرف انرژی Energy consumption (Mj/h)	میزان مصرف Consumption rate	واحد در هکتار Units per hectare	نهاده‌های ورودی Inputs
669.9	8363	138	kg	N
83.73	1021	92	kg	P ₂ O ₅
52.72	643	96	kg	K ₂ O
807	10027	326	kg	مجموع مصرف کود Total fertilizer consumption
216.5	1344	4.68	kg	علف‌کش Herbicide
-	-	-	kg	قارچ‌کش Fungicide
-	-	-	kg	حشره‌کش Insecticide
216.5	1344	4.68	kg	مجموع مصرف سموم Total consumption of pesticides
-	100	2	kg	بذر Seeds
829.59	3653	58.38	h	ماشین‌آلات Machinery
702.5	9006	223	litr	سوخت فسیلی برای عملیات زراعی Fossil fuels for crop operations
50.39	646	17	litr	سوخت فسیلی برای آبیاری Fossil fuels for irrigation
752.89	9652	240	litr	مجموع مصرف سوخت فسیلی Total fossil fuel consumption
80.64	288	80	Kw/h	الکتریسیته Electricity
-	412.34	207.38	h	نیروی انسانی Human labor
-	-	50000	kg	عملکرد محصول Crop yield
-	25476	-	-	مجموع انرژی ورودی Total energy input
-	202500	-	-	مجموع انرژی خروجی Total energy output
2687	-	-	-	مجموع گازهای گلخانه‌ای Total greenhouse gases

مصرف سوخت فسیلی در تولید چغندر قند به میزان ۲۴۰ لیتر در هکتار به دست آمد. همچنین برای هر هکتار چغندر قند به ترتیب به ۹۶۵۲ و ۲۸۸ مگاژول انرژی ناشی از مصرف سوخت فسیلی و الکتریسیته مصرف شد (جدول ۱) که در مجموع ۲۸ و ۳ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندر قند به ترتیب متعلق مصرف سوخت فسیلی و الکتریسیته بود. ساراسکیس و همکاران (Sarauskis et al., 2018) دریافتند که در کشت رایج چغندر قند، بیشترین انرژی ورودی به ترتیب مربوط به سوخت فسیلی بود. در مطالعه‌ای دیگر در ترکیه سهم سوخت فسیلی در تولید چغندر قند برابر با ۲۴/۱۶ درصد گزارش شد (Erdal et al., 2007). برای تولید هر هکتار چغندر قند به ترتیب ۵۸/۳۸ و ۲۰۷/۳۸ ساعت از ماشین‌آلات و نیروی انسانی استفاده شد که این انرژی جهت تولید، تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات به مصرف می‌رسد (جدول ۱). همچنین به ۲۰۷/۳۸ ساعت نیروی کارگری نیز نیاز بود (جدول ۱) و سهم مصرف انرژی ۱/۶۱ درصد از مجموع انرژی ورودی به دست آمد. در تولید هر هکتار چغندر قند بیشترین مصرف انرژی کارگری در عملیات برداشت ارزیابی شد.

شاخص‌های انرژی: بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲ مشخص گردید که مجموع مصرف انرژی ورودی در هر هکتار تولید چغندر قند ۲۵۴۷۶ مگاژول بود که از این میزان ۴۱ درصد به طور مستقیم و ۵۹ درصد به صورت غیرمستقیم مصرف شد. همچنین نتایج نشان داد که مصرف سوخت فسیلی و کود نیتروژنی به ترتیب بیشترین سهم را از انرژی مستقیم و غیرمستقیم داشتند. تزلیوواکیس و همکاران (2005) با مقایسه مصرف انرژی در ۱۳ سناریوی تولید چغندر قند در انگلستان گزارش کردند که مجموع انرژی مصرفی از ۱۵/۲۷ تا ۲۵/۹۴ مگاژول بر هکتار متغیر بود. ایشان همچنین دریافتند که بیشترین سهم مصرف انرژی ورودی برای تغذیه چغندر قند با کودهای نیتروژنی به کار رفت. مرینی و همکاران (Mrini et al., 2002) نیز با بررسی مصرف انرژی ۴۸ مزرعه در تولید چغندر قند در مراکش دریافتند که میزان انرژی مستقیم (سوخت فسیلی و الکتریسیته) از ۴۳ تا ۷۰ درصد متغیر بود. کودهای شیمیایی و استفاده از ماشین‌آلات بیشترین سهم را در مصرف انرژی غیرمستقیم داشتند. بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲ میزان انرژی خروجی کل ۲۰۲۵۰۰ ارزیابی شد. در تحقیقی مقدار انرژی خروجی در تولید متداول چغندر قند ۱۶۲۰۳۶ تا ۱۷۴۳۱۷ مگاژول در هکتار ارزیابی شد (Jacobs and Npamkaran., 2016). بر اساس نتایج به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی در تولید چغندر قند ۷/۹۴ مگاژول انرژی خروجی حاصل شد (جدول ۲). در تحقیقات مختلف کارایی مصرف انرژی در تولید چغندر قند ۹/۷۶ (Saltanpenah and Npamkaran, 2013)، ۸/۳۵ (Baran and Kagdogan, 2016)، ۵/۰۴ (Yaldiz et al., 1993) و ۹/۴۳-۱۷/۸۳ (Hülsbergen et al., 2001) به دست آمد. هاجیسفلوگولاری و همکاران (Haciseferogullari et al., 2103) بیان کردند که یکی از دلایل مهم برای مصرف زیاد این نهاده‌های سوخت فسیلی و کودهای نیتروژنه، فروش چغندر قند بر اساس وزن غده هاست. بنابراین فروش آن بر اساس درصد قند می‌تواند این مشکل را تا حد زیادی برطرف کند و موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی به ویژه نیتروژنی و سوخت فسیلی برای آبیاری گردد. در نهایت کارایی مصرف انرژی نیز افزایش خواهد یافت.

میزان انرژی خالص چغندر قند ۱۷۷۰۲۴ مگاژول بر هکتار ارزیابی شد (جدول ۲). باران و کاگدوگان (Baran and Kagdogan, 2016) انرژی خالص را در تولید چغندر قند ۲۵۱۳۹۸ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. به طور متوسط در هر هکتار برای تولید چغندر قند به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی ۱/۹۲ کیلوگرم محصول تولید شد (جدول ۲). مصرف بیشتر کودهای نیتروژنه عامل کاهش بهره‌وری بود. از آنجایی که انرژی ویژه با بهره‌وری انرژی رابطه عکس دارد می‌توان گفت که با افزایش عملکرد و کاهش مصرف انرژی در بخش کودهای شیمیایی و عملیات زراعی می‌توان مصرف انرژی را به ازای هر کیلوگرم محصول کاهش داد. افزایش کارایی مصرف انواع کودهای شیمیایی به ویژه کود اوره و یا استفاده از کودهای آلی که منجر به غنی‌سازی خاک از مواد معدنی در طولانی مدت می‌شود یکی را از راه‌های مهم برای کاهش میزان انرژی ورودی به

مزرعه می‌باشد. همچنین رضوان طلب (Rezvan Talab, 2015) دریافتند که استفاده از ماشین‌آلات با بهره‌وری بالاتر موجب کاهش مدت زمان استفاده از آن و در نهایت مصرف سوخت می‌گردد که می‌توان بهره‌وری انرژی و نسبت انرژی خروجی به ورودی را در هر هکتار افزایش داد و مصرف انرژی به ازای هر کیلوگرم محصول کاهش خواهد یافت.

جدول ۲- شاخص‌های انرژی در تولید چغندر قند در گرگان

Table 2- Energy indicators in sugar beet production in Gorgan

شاخص‌های انرژی Energy Indicators	واحد Unit	میانگین Average
انرژی مستقیم Direct Energy	مگاژول بر هکتار Mj/h	10352
انرژی غیرمستقیم Indirect Energy	مگاژول بر هکتار Mj/h	15124
انرژی ورودی کل Total Energy Input	مگاژول بر هکتار Mj/h	25476
انرژی خروجی کل Total Energy Output	مگاژول بر هکتار Mj/h	202500
نسبت انرژی خروجی به ورودی Output to input energy ratio	-	7.94
انرژی خالص Net Energy	مگاژول بر هکتار Mj/h	177024
بهره‌وری انرژی Energy Productivity	کیلوگرم بر مگاژول Kg/Mj	1.92
انرژی ویژه Specific Energy	مگاژول بر کیلوگرم Mj/Kg	0.52

شاخص‌های GWP: براساس نتایج به ازای هر هکتار تولید چغندر قند ۲۶۸۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن گازهای گلخانه‌ای انتشار یافت (جدول ۳). از طرفی هر چه عملکرد محصول افزایش یابد، میزان GWP به ازای تولید محصول نیز کاهش خواهد یافت به طوری که عملکرد غده بالا در چغندر قند موجب شده است تا این محصول از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری به ازای هر کیلوگرم محصول تولیدی داشته باشد (جدول ۳). تزلیواکیس و همکاران (Tzilivakis et al., 2005) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در تولید چغندر قند ۲۴ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به ازای هر تن غده ارزیابی کردند. ایشان همچنین دریافتند که بیشترین سهم مصرف انرژی ورودی برای تغذیه چغندر قند به کار رفت. کمترین مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوی کشت ارگانیک، کشت رایج در خاک‌های حاصلخیز و کشت رایج در خاک‌های شنی که با کود حاصل از طیور تغذیه شده‌اند مشاهده شد. تریمپلر و همکاران (Trimpler et al., 2016) با بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندر قند در آلمان طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۲ مشاهده کردند که مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی موجب انتشار ۲۶۲۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن گردید که این میزان با کاربرد فقط کودهای آلی به ۱۷۸۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن کاهش یافت. مصرف کود نیتروژن ۲/۵ برابر مصرف سوخت‌های فسیلی و سایر عوامل تولید انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای را در پی داشت.

جدول ۳- شاخص‌های GWP در تولید چغندر قند در گرگان

Table 3- GWP indicators in sugar beet production in Gorgan

میانگین Average	واحد Unit	شاخص‌های GWP GWP Indicators
2687	کیلوگرم معادل CO ₂ در هکتار kg CO ₂ equivalent per hectare	GWP کل در هر هکتار Total GWP per hectare
0.054	کیلوگرم معادل CO ₂ در تن محصول kg CO ₂ equivalent per tonne of crop	GWP به ازای تولید محصول GWP per crop production
0.105	کیلوگرم معادل CO ₂ در گیگاژول kg CO ₂ equivalent per gigajoule	GWP به ازای انرژی ورودی GWP per energy input
0.013	کیلوگرم معادل CO ₂ در گیگاژول kg CO ₂ equivalent per gigajoule	GWP به ازای انرژی خروجی GWP per energy output

نتیجه‌گیری کلی

در نهایت می‌توان گفت که توجه به مصرف بهینه کودهای نیتروژنه و سوخت‌های فسیلی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد نیز با استفاده از کشنده‌هایی با توان اسب بخار بالا و ادواتی با عرض کار و عمق نفوذ بیشتر می‌توان در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود و به دنبال آن انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد.

منابع

- Baran, M.F., Gokdogan, O. 2016. Determination of energy balance of sugar beet production in Turkey: a case study of Kırklareli Province. *Energy Efficiency*, 9: 487-494. <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9375-x>.
- Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., Gunduz, O. 2007. Energy use and economic analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*. 32: 35-41.
- Eslami, B., Shiri, M., Rasouli Azar, N. 2012. Energy balance evaluation in sugar beet farms in southern climate of West Azerbaijan province. *Proceedings of the Second National Conference on Biodiversity and its Impact on Agriculture and Environment*, 5 pages.
- Garofalo, P., Mastroianni, M., Ventrella, D., Vonella, A. V., Campi, P. 2020. Modelling the suitability of energy crops through a fuzzy-based system approach: The case of sugar beet in the bioethanol supply chain. *Energy* 196: 117160.
- Ghosh, S., Das, TK., Rana, KS., DR Biswas, DK Das, G Singh. 2022. Energy budgeting and carbon footprint of contrasting tillage and residue management scenarios in rice-wheat cropping system. *Soil Tillage Res*, 223 (2): 105445.
- Guru, P.K., N.K. Chhuneja, A.Dixit, P.Tiwari, A.Kumar. 2018. Mechanical transplanting of rice in India: status, technological gaps and future thrust. *ORYZA-An International Journal on Rice*, 55(01): 100-106.
- Haciseferogullari, H., Acaroglu, M., Gezer, I. 2013. Determination of the energy balance of the sugar beet plant. *Energy Sources*, 25 (1): 15-22.

- Hülsbergen, K. J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G. W., Kalk, W. D., Diepenbrock, W. A. 2001. Method of energy balancing in crop production and its applications in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 86: 303–321.
- IPCC. 2013. Summary for policymakers. *Climate Change 2013: The Physical science Basis*. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf.
- Jacobs, A., Brauer-Siebrecht, W., Christen, O., Gotze, P., Koch, H.J., Rücknagel, J., Marlander, B. 2016. Silage maize and sugar beet for biogas production in crop rotations and continuous cultivation e energy efficiency and land demand. *Field Crop. Res.* 196:75-84.
- Lal, B., P. Gautam, A.K. Nayak, B.B. Panda, P. Bihari, R Tripathi, M. Shahid, P.K. Guru, D. Chatterjee, U. Kumar, B.P. Meena. 2019. Energy and carbon budgeting of tillage for environmentally clean and resilient soil health of rice-maize cropping system. *Journal of Cleaner Production*, 226: 815-830.
- Mallepu, S., Reddy, L., Mitra, B., Gaber, A., Hossain, A. 2024. Growth, Yield, Energetics, CO2 Emissions and Production Economics of Zero-Tillage Wheat as Influenced by Different Rice Residue Loads and Nutrient Management Options. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 93 (12): 3509-3530.
- Mrini, M., Senhaji, F., Pimentel, D. 2002. Energy Analysis of Sugar beet production under traditional and intensive farming systems and impacts on sustainable agriculture in Morocco. *Journal of Sustainable Agriculture*. 20 (4): 5-28.
- Rezvan Talab, T. 2015. Evaluation of energy consumption, energy and greenhouse gas emissions in wheat and soybean production in Golestan province. PhD thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 38 pages
- Sarauskis, E., Romaneckas, K., Kumhala, F., Kriauciunien, Z. 2018. Energy use and carbon emission of conventional and organic sugarbeet farming. *Journal of Cleaner Production*. 201: 428-438.
- Shrivastava A K, Guru P K, Khandelwal N K, Dubey R K. 2022. Analysis of changes in energy use pattern of wheat crop in two decades – A study of central India. *Energy in Agriculture*. 24(1): 128-144.
- Soltanpanahi, S., Prakash Kammardi T.N., Ghaderzadeh, H. 2013. Analysis of input-output energy use in sugar beet production in Iran. *World Applied Sciences Journal*, 28 (9): 1252-1261.
- Trimpler, K., Stockfisch, N., Märlander, B. 2016. The relevance of N fertilization for the amount of total greenhouse gas emissions in sugar beet cultivation. *Europ. J. Agronomy*, 81: 64-71.
- Tzilivakis, J., Warner, D. J., Lewis, M. K. A., Jaggard, K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production in the UK. *J. Agric Syst*, 85: 101–119.
- Yadav G S, Babu S, Das A, Mohapatra K P, Singh R, Avasthe R K, Roy S. 2020. No-till and mulching enhance energy use efficiency and reduce carbon footprint of a direct seeded upland rice production system. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122700.
- Yaldız, O., Öztürk, H. H., Zeren, Y., Başçetinçelik, A. 1993. Energy Usage in Production of Field Crops in Turkey, 5th Int. Cong. on Mechanization and Energy in Agriculture, October 11–14, pp. 527–536.