



بهره‌وری انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندرقد استان قزوین و تعیین واحدهای کارا و ناکارا با روش تحلیل پوششی داده‌ها[†]

Energy efficiency and greenhouse gas emission in sugar beet production in Qazvin province and determination of efficient and inefficient units using data envelopment analysis method

محمد یونسی الموتی*، عادل واحدی^۱ و مرتضی صداقت حسینی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱ : تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۳

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/JSB.2024.365412.1356

م. یونسی الموتی، ع. واحدی و م. صداقت حسینی. ۱۴۰۲. بهره‌وری انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندرقد استان قزوین و تعیین واحدهای کارا و ناکارا با روش تحلیل پوششی داده‌ها. چغندرقد، ۳۹(۲): ۲۰۸-۱۹۷.

چکیده

چغندرقد یکی از محصولات استراتژیک کشور است که در سال ۱۴۰۱ تولیدی بالغ بر ۶ میلیون تن داشته است، ایران در این سال رتبه دوازدهم را در میان سایر کشورها به خود اختصاص داده است. امروزه افزایش مصرف نهاده‌ها به‌ویژه سوخت‌های فسیلی به‌منظور تأمین امنیت غذایی، باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است. این مطالعه به‌منظور تعیین و بهینه‌سازی شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندرقد در استان قزوین به انجام رسیده است. در این پژوهش که اطلاعات موردنیاز آن از طریق مصاحبه با ۲۰ نفر از چغندرکاران استان قزوین در قالب پرسشنامه، تهیه گردیده است، مجموع انرژی مصرفی و شاخص بهره‌وری انرژی به ترتیب ۵۴۷۴۹/۳۹ مگاژول بر هکتار و ۰/۶۱ کیلوگرم بر مگاژول تعیین گردید. بیشترین سهم انرژی مصرفی مربوط به سوخت دیزل، کود نیتروژن، آب آبیاری و الکتریسیته به ترتیب با ۲۶، ۲۳، ۲۰ و ۱۲ درصد بود. متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای ۱۶۱۳/۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار بود که سهم نهاده‌های سوخت دیزل، الکتریسیته، کود نیتروژن و ماشین‌آلات به ترتیب با ۵۲، ۲۱، ۱۳ و ۱۱ درصد بود. نتایج نشان داد که از میان ۲۰ مزرعه مورد مطالعه، نه واحد زراعی از نظر مصرف انرژی کارا و ۱۱ واحد دیگر ناکارا بودند. همچنین امکان صرفه‌جویی در انرژی مصرفی معادل ۱۵/۵۸ درصد، از طریق کاهش مصرف نهاده‌ها، بدون کاهش عملکرد در واحدهای ناکارا و تبدیل شدن آن‌ها به واحدهای کارا وجود دارد. این مقدار صرفه‌جویی می‌تواند باعث کاهش ۱۳/۷۱ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارتقاء بهره‌وری انرژی به ۰/۷ کیلوگرم بر هکتار در تولید چغندرقد منطقه شود.

واژه‌های کلیدی: تولید چغندرقد، شاخص‌های انرژی، گازهای گلخانه‌ای

[†] این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی به شماره مصوب ۹۳۰۰۳-۹۳۵۲-۱۴-۱۴-۱۲

۱- دانشیار مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۲- مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳- استادیار گروه فنی و ماشینهای کشاورزی مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.



مقدمه

با افزایش جمعیت و تغییر الگوی مصرف، به تدریج نیاز به مواد غذایی و محصولات کشاورزی در حال افزایش بوده که این امر خود موجب فشار بیشتر بر بخش کشاورزی به عنوان تأمین کننده اولیه مواد غذایی است. افزایش کمیت و کیفیت تولید همواره با افزایش مصرف منابع بویژه انرژی همراه است. به دلیل محدودیت در منابع انرژی و هزینه‌های آن، این موضوع علاوه بر ایجاد چالش‌هایی در تأمین نهاده‌های تولید، سبب افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز می‌شود. افزایش مصرف منابع انرژی (به بویژه منابع فسیلی) در عرصه‌های کشاورزی عامل انتشار حدود ۱۲ درصد گازهای گلخانه‌ای (Greenhouse gases) در جهان است (Tzivilakis *et al.* 2005). این موضوع خود یکی از عوامل افزایش گرمای جو و تغییر در اقلیم است. استفاده‌ی مؤثر از انرژی در کشاورزی به دلیل امکان صرفه‌جویی اقتصادی و نیز حفظ سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی هوا به عنوان یکی از شرایط مهم در ایجاد و توسعه کشاورزی پایدار محسوب می‌شود (Uhlin 2002; Pervanchon *et al.* 1998). بنابراین کشاورزی پایدار، بدون در نظر گرفتن بهینه‌سازی مصرف انرژی امکان‌پذیر نیست. به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشاورزی می‌توان از دو طریق اقدام نمود: نخست به منظور افزایش تولید، میزان نهاده‌های انرژی را افزایش داد و دوم بدون تحت‌تأثیر قراردادن میزان تولید، در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد (Singh *et al.* 2007).

عوامل متعددی در بهره‌وری انرژی در مزارع مؤثر هستند. یکی از این عوامل اندازه‌ی مزرعه و سطح فناوری مورد استفاده است. در حالی که نتایج مطالعه‌ای نشان داد که در مزارع گندم استان آذربایجان غربی روش‌های خاک‌ورزی و کاشت مناسب باعث افزایش بهره‌وری انرژی می‌شوند اما اندازه مزرعه تأثیر خیلی کمی در این شاخص داشته مزارع بزرگتر نسبتاً

کارآمدترند. در این مطالعه مزارع کمتر از دو هکتار (کوچک) بین دو و پنج هکتار (متوسط) و بزرگتر از پنج هکتار (بزرگ) تقسیم‌بندی شدند (Sedaghat Hosseini *et al.* 2014). در مطالعه دیگری در این استان، مزارع چغندر قند منطقه از نظر مساحت در سه گروه اول (با مساحت کمتر از یک هکتار)، دوم (با مساحت بین یک تا دو هکتار) و سوم (با مساحت بیشتر از دو هکتار) دسته‌بندی شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که مزارع بزرگتر، دارای راندمان مصرف انرژی و عملکرد اقتصادی بهتری بودند (Gholamighajelou *et al.* 2015).

یکی از روش‌های افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و بازیافت انرژی است. بر این اساس امکان کاهش در آلاینده‌ی از طریق تبدیل بقایای چغندر قند به بیوگاز و بیواتانول به ترتیب به میزان ۸۳ و ۸۱ درصد وجود دارد (ZakiDizaji *et al.* 2021). رضادوست (Rezadost 2001) کارایی مصرف انرژی تولید چغندر قند (*Beta Vulgaris*) در آذربایجان غربی (شهرستان خوی) را نسبت به کشورهای با کشاورزی پیشرفته در حد مطلوب و معادل ۱/۶۷ کیلوگرم بر مگاژول برآورد نمود. اردال و همکاران (Erdal *et al.* 2007) در تحقیقی با عنوان مصرف انرژی و آنالیز اقتصادی تولید چغندر قند در ترکیه نشان دادند که انرژی مصرفی در تولید این محصول ۳۹۶۸۵/۵ مگاژول در هکتار بوده که از این میزان سهم کودهای شیمیایی ۴۹/۳ درصد و سوخت‌های فسیلی ۲۴/۱ درصد است. نسبت انرژی ستانده به نهاده برای چغندر قند ۲۵/۷۵ به دست آمد. شیروانی بروجنی (Shirvani Borojeni *et al.* 2021) اثرات زیست‌محیطی و مصرف انرژی در تولید چغندر قند و پیش‌بینی عملکرد محصول با استفاده از مدل‌های ANN و ANFIS در استان چهارمحال و بختیاری را بررسی نمودند. شاخص‌های نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزوده خالص انرژی به ترتیب برابر ۱/۲۴، ۲۰/۹۹ کیلوگرم بر مگاژول، ۰/۸ مگاژول بر کیلوگرم و ۷۵۲۴۴۹/۵۳ مگاژول بر

بررسی منابع مرتبط نشان داد که با وجود گستردگی تحقیقات در خصوص انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در محصولات کشاورزی کشور، تحقیقات چندان در خصوص مباحث مربوط به بهینه‌سازی انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصول چغندر قند انجام نشده است و جهت برنامه‌ریزی در خصوص میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و انرژی مصرفی تولید چغندر قند، ضروری است که اطلاعات لازم و کافی در چند استان مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. بنابراین هدف اصلی از این تحقیق، تعیین میزان انرژی مصرفی و راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندر قند، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها در منطقه قزوین بود.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی استان قزوین

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۶۲۳ کیلومترمربع در حوزه مرکزی ایران بین ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۵ درجه ۲۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد. این استان از سمت شمال به استان‌های گیلان و مازندران، از غرب به استان‌های زنجان و همدان، از سمت جنوب به استان مرکزی و از سمت شرق به استان تهران محدود است (شکل ۱). استان قزوین با دارا بودن تنها یک درصد از مساحت کل کشور نزدیک به پنج درصد در اقتصاد و تولیدات ایران نقش دارد.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان قزوین

هکتار به دست آمد. همچنین میزان کل انرژی ورودی و خروجی چغندر قند به ترتیب ۳۷۶۴۰/۴۶۴ و ۷۹۰۰۹۰ مگاژول بر هکتار بود. مقدار کل انتشار گازهای گلخانه‌ای، ۱۵۵۶/۸۵۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار برآورد شد. بیشترین سهم از کل گازهای منتشر شده، به ترتیب مختص به کود نیتروژن (۲۲٪/۴۰)، سوخت (۳۱/۶۶٪) و برق (۲۱/۷۶٪) بود. سلیمانی و همکاران (Soleymani et al. 2023) ضمن محاسبه شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندر قند در شهرستان نقده، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها اقدام به بهینه‌سازی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای نمودند. مجموع انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای این شهرستان به ترتیب ۳۷۵۴۸/۴۱ مگاژول بر هکتار و ۱۳۱۹ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار تعیین شد. آنها اظهار نمودند که امکان صرفه‌جویی ۴/۶۹ درصد از کل انرژی مصرفی وجود دارد که این مقدار می‌تواند باعث کاهش انتشار ۲۴۶/۲۵ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هکتار شود (Soleymani et al. 2023).

در سال ۱۴۰۱، بیش از شش میلیون تن چغندر قند در کشور تولید شد که باعث شد رتبه ایران در میان کشورهای جهان، رتبه دوازدهم در تولید این محصول شود و از نظر ارزش تولید ناخالص با بیش از ۲۳۵ میلیون دلار رتبه هشتم را در میان کشورهای تولید کننده چغندر قند دارد (Anonymous 2024). در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ حدود ۲/۰۴ درصد از زمین‌های زراعی آبی کشور به کشت چغندر قند اختصاص یافت. از این سطح مقدار ۷۴۶۶۹۱۳ تن محصول برداشت شد که معادل ۹/۴۸ درصد از محصولات آبی کشور بوده و تولید چغندر قند پس از ذرت علوفه‌ای (*Zea mays*) و گندم (*Triticum aestivum*) رتبه سوم را در کشور دارد. در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ استان قزوین از سطح زیرکشت ۵۹۸ هکتار معادل ۲۸۱۰۴ تن چغندر قند برداشت شد (Anonymous (a) 2023).

روش جمع‌آوری اطلاعات

به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات از روش‌های مختلفی از جمله پرسشنامه، مطالعه اسناد و کتابخانه‌ای و همچنین مصاحبه استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا پرسشنامه‌ای با توجه به نقطه نظرات کارشناسان جهادکشاورزی و تعدادی از کشاورزان منطقه در قسمت‌های مختلف برای دستیابی به اطلاعات تکمیل شد. پرسشنامه شامل چهار بخش اصلی بود. بخش اول مشخصات تولید کننده (چغندرکار) شامل اطلاعاتی از قبیل سن، میزان تجربه، نوع مالکیت زمین و ماشین‌های کشاورزی بود. بخش دوم، مربوط به مشخصات مزرعه و شامل اندازه مزرعه، نام محصول کشت‌شده قبلی، نوع بذر و غیره بود. بخش سوم، اطلاعات مربوط به هریک از مراحل تولید چغندر (شامل کاشت، وجین مزرعه، عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی زمین، آبیاری مزرعه، مبارزه با آفات، کودپاشی و عملیات برداشت در مزرعه) بود. در هریک از بخش‌های یادشده اطلاعاتی مربوط به میزان نهاده‌های مصرفی، نحوه انجام عملیات مختلف زراعی، تعداد دفعات انجام عملیات و اطلاعاتی در زمینه هزینه نهاده‌ها و درآمد جمع‌آوری گردید. بخش چهارم، به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سایر عملیات از جمله کارشناسی مزرعه و نگهداری و سایر نهاده‌های مصرفی طراحی گردید. پس از طراحی پرسشنامه‌ها و تکمیل آنها توسط کشاورزان چغندرکار در سطح استان، داده‌های جمع‌آوری شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

در مرحله بعد تعداد نمونه تعیین شد. در این تحقیق برای برآورد حجم نمونه از روش‌های آماری استفاده شد، اما برای انجام آن نیاز به دانستن اطلاعات و پارامترهایی درباره جامعه مورد مطالعه بود. به‌عنوان مثال لازم بود وضعیت توزیع یک یا چند صفت یا متغیر مورد مطالعه در اختیار باشد. برای به‌دست آوردن حجم نمونه از رابطه ۱ استفاده شد (Vahedi 2014).

$$n = \frac{N(t.s)^2}{Nd^2 + (t.s)^2} \quad (1)$$

$$d = \frac{t \times s}{\sqrt{n}}$$

که در آن:

n = حجم نمونه (تعداد مزارع مورد مطالعه)

N = اندازه جامعه آماری

t = ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t استیودنت به‌دست می‌آید (۱/۹۶) در سطح اطمینان ۹۵٪)

S = برآورد انحراف معیار صفت مورد مطالعه (۰/۵۳)

d = دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان، ۰/۵)

در این مطالعه تعداد مزارع مورد مطالعه (۱۷) عدد به‌دست آمد، که برای افزایش دقت تعداد ۲۰ عدد نمونه‌گیری شد. این ۲۰ عدد مزرعه تولید چغندر، حدود ۲۲/۰۸ درصد سطح زیرکشت چغندر استان را شامل شد.

محاسبه انرژی مصرفی

به‌منظور تعیین میزان انرژی مصرفی در تولید محصول چغندر، انرژی معادل هریک از نهاده‌ها از جدول ۱ استخراج شده و در مقدار مصرفی هر نهاده ضرب شد. در نهایت مجموع انرژی مصرفی برای تولید چغندر در یک هکتار برای هر مزرعه جداگانه محاسبه گردید. در مورد انرژی ستانده نیز حاصل ضرب عملکرد هر مزرعه در هم‌ارز انرژی چغندر محاسبه گردید (جدول ۱).

جامعه آماری، روش نمونه‌گیری و حجم نمونه

جامعه آماری این تحقیق شامل کل کشاورزان چغندرکار استان قزوین است. در این مطالعه از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. نتایج این روش نمونه‌گیری با رعایت اصول نمونه‌گیری قابل اعتماد و قابل تعمیم به کل جامعه است. در این روش نمونه‌گیری احتمال انتخاب در هر مرحله برای کلیه واحدهای جامعه یکسان است.

جدول ۱ هم‌ارز انرژی‌های مصرفی و تولیدی برای چغندر قند

منبع	هم‌ارز انرژی (مگاژول/واحد)	واحد	نوع انرژی	انرژی نهاده
(Kitani 1999)	۱/۹۶	ساعت	نیروی انسانی	
(Kitani 1999)	۴۷/۸	لیتر	سوخت دیزل	
(Ozkan <i>et al.</i> 2004)	۰/۳	کیلوگرم	کود دامی	
(Kitani, 1999)	۷۸/۱	کیلوگرم	کود نیتروژن	
(Kitani 1999)	۱۷/۴	کیلوگرم	کود فسفات	
(Kitani 1999)	۱۳/۷	کیلوگرم	کود پتاس	
(Rafiee <i>et al.</i> 2010)	۲۱۶	لیتر	قارچ کش	
(Rafiee <i>et al.</i> 2010)	۲۳۸	لیتر	علفکش	
(Rafiee <i>et al.</i> 2010)	۱۰۱/۲	لیتر	حشره کش	
(Ozkan <i>et al.</i> 2004)	۱۱/۹۲	کیلووات ساعت	الکتريسيته	
(Rostami <i>et al.</i> 2018)	۶۲/۷	ساعت	ماشین آلات	
(Moosavi-Nezhad <i>et al.</i> 2022)	۱/۰۲	متر مکعب	آب برای آبیاری	
(Lal 2004)	۵۰	کیلوگرم	بذر	
(Kitani 1999)	۵۴	کیلوگرم	چغندر قند	انرژی ستانده

EI: مجموع انرژی مصرفی (MJ/ha)

تعیین شاخص بهره‌وری انرژی

پس از تعیین مجموع انرژی مصرفی و انرژی ستانده واحدهای مختلف، شاخص بهره‌وری انرژی برای واحدهای مختلف بصورت جداگانه با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Kitani 1999).

$$E_p = \frac{Y}{E_i} \quad (2)$$

که در آن:

 E_p : بهره‌وری انرژی (Kg/MJ)

Y: عملکرد محصول (Kg/ha)

محاسبه‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای

به منظور تولید محصولات کشاورزی نیاز به مصرف نهاده‌های مختلف است. در فرآیند تولید و حمل و نقل این نهاده‌ها و در مرحله مصرف آنها در مزرعه، باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. برای محاسبه مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک هکتار مزرعه تولید چغندر قند، حاصلضرب مقدار نهاده‌های مصرفی در ضریب انتشار هر کدام از آنها (جدول ۲) تعیین گردید.

جدول ۲ ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای نهاده‌های مختلف تولید چغندر قند

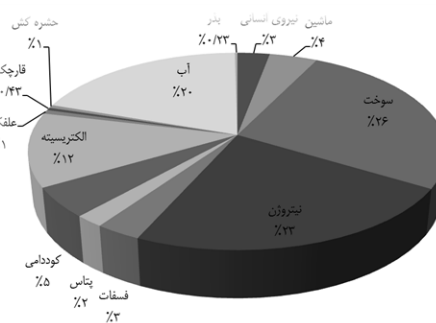
منبع	ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای (کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در واحد)	واحد	نهاده‌ها
(Pishgar-Komleh <i>et al.</i> 2012)	۰/۰۰۱	ساعت	نیروی انسانی
(Dyer and Desjardins 2006)	۰/۰۷۱	مگاژول	ماشین‌ها
(Dyer and Desjardins 2006)	۲/۷۶	لیتر	سوخت دیزل
(Lal 2004)	۵/۱	کیلوگرم	سموم شیمیایی
(Nabavi-Pelesaraei <i>et al.</i> 2014)	۰/۶۰۸	کیلووات ساعت	الکتريسيته
(Lal 2004)	۰/۲	کیلوگرم	کود فسفات
(Lal 2004)	۱/۳	کیلوگرم	کود نیتروژن
(Lal 2004)	۰/۲	کیلوگرم	کود پتاسیم
(Ekinci <i>et al.</i> 2019)	۰/۰۰۵	تن	کود دامی

تعیین کارآمدی واحدهای تولیدی

پس از تعیین شاخص بهره‌وری انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای هریک از واحدهای تولیدی، کارایی انرژی هر واحد تولیدی به روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) با استفاده از نرم‌افزار Dea solver محاسبه گردید (Vahedi 2014). پس از تفکیک واحدهای کارا و ناکارا، مقدار صرفه‌جویی در مصرف واحدهای مختلف به منظور کارآمدشدن واحدهای ناکارا محاسبه گردید. پس از تعیین مقدار کاهش مصرف هریک از واحدها بعد از به‌کارگیری توصیه‌های بهینه‌سازی، معادل مقدار کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هریک از واحدهای تولیدی به صورت جداگانه و طبق روش اشاره شده در بخش محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای، محاسبه گردید.

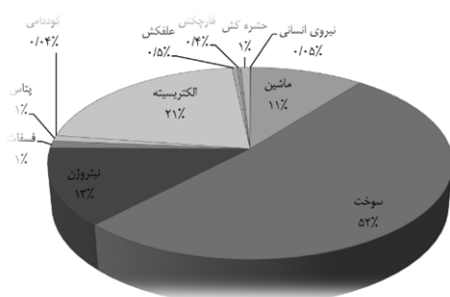
نتایج و بحث

متوسط انرژی مصرفی در تولید چغندر قند $54749/39$ مگاژول در هر هکتار به دست آمد. این مقدار کمتر از نتایج مطالعه قبلی ($66879/92$) بود (Babaeian et al. 2021). سهم واحدهای مختلف انرژی در متوسط تولید چغندر قند مربوط به سوخت دیزل، کودنیتروزن، آب آبیاری، الکتریسیته، کوددابی، ماشین‌های کشاورزی، کودفسفات، نیروی انسانی، کودپتاس، علفکش، حشره‌کش، قارچ‌کش و بذر به ترتیب با مقدار ۲۶، ۲۳، ۲۰، ۱۲، ۵، ۴، ۳، ۳، ۲، ۱، ۱، ۱، ۴۳ و ۲۳ درصد از مجموع انرژی مصرفی بود (شکل ۲).



شکل ۲ سهم واحدهای مختلف (درصد) در انرژی مصرفی برای تولید چغندر قند

متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای هر هکتار تولید چغندر قند $1613/2$ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار محاسبه گردید که در مقایسه با نتایج قبلی ($9048/85$) کمتر بود (Babaeian et al. 2021). سهم هر کدام از واحدها در انتشار گازهای گلخانه‌ای به ترتیب حاصل از سوخت مصرف دیزل، الکتریسیته، کودنیتروزن، ماشین‌های کشاورزی، کودفسفات، کودپتاس، حشره‌کش، علفکش، قارچ‌کش، نیروی انسانی و کوددابی است که سهم هر کدام به ترتیب معادل ۵۲، ۲۱، ۱۳، ۱۱، ۱، ۱، ۱، ۵، ۴، ۰/۵ و ۰/۴ درصد از مقدار کل بود (شکل ۳).



شکل ۳ سهم مشارکت (درصد) واحدها در انتشار گازهای گلخانه‌ای

با بررسی کارایی واحدهای تولید چغندر قند، متوسط کارایی واحدهای ناکارآمد $72/04$ درصد تعیین گردید (جدول ۳). این بدان معنی است که با مصرف $72/04$ درصد از واحدها و ثابت ماندن مقدار محصول تولیدی، می‌توان واحدهای ناکارآمد را به واحدهای کارا تبدیل نمود. در این صورت در مصرف حدود ۲۸ درصد از واحدها صرفه‌جویی خواهد شد. بر اساس نتایج جدول ۳ واحدهای شماره ۱، ۳، ۴، ۵، ۸، ۱۱، ۱۳، ۱۸ و ۲۰ کارا هستند. کارایی $82/2$ درصد واحد شماره دو به این معنی است که $17/8$ درصد از واحدهای این واحد باید کاهش داده شوند، به طوری که تولید آن واحد کاهش پیدا نکند تا این واحد کارا شود. با توجه به اینکه الگوهای واحد شماره ۲، واحدهای شماره ۳ و ۵ هستند و با توجه به اینکه ضریب‌های متغیر تصمیم آنها

شماره ۳ را مصرف نماید تا به صورت واحد کارا درآید.

به ترتیب ۲۳/۳ و ۵۹ درصد است، واحد شماره ۲ باید ۲۳/۳

درصد نهاده‌های واحد شماره ۵ و ۵۹ درصد نهاده‌های واحد

جدول ۳ ارزیابی واحدهای زراعی تولید چغندر قند با مجموعه‌های مرجع آنها

شماره واحد تولید چغندر قند	کارایی (درصد)	واحدهای مرجع (الگو)*
۱	۱۰۰	
۲	۸۲/۲	۳ (۰/۵۹) و ۵ (۰/۲۳۳)
۳	۱۰۰	
۴	۱۰۰	
۵	۱۰۰	
۶	۶۲/۴	۳ (۰/۶۲۴)
۷	۸۰/۲	۴ (۰/۶۱۹)، ۵ (۰/۱۵۵) و ۱۳ (۰/۲۹)
۸	۱۰۰	
۹	۶۷/۸	۳ (۰/۶۵۱) و ۸ (۰/۲۷)
۱۰	۹۵/۱	۳ (۰/۹۵۱)
۱۱	۱۰۰	
۱۲	۷۲	۳ (۰/۷۲)
۱۳	۱۰۰	
۱۴	۷۰/۵	۳ (۰/۶۶۷) و ۸ (۰/۳۸)
۱۵	۸۱	۳ (۰/۵۰۸)، ۸ (۰/۲۵۹) و ۲۰ (۰/۴۳)
۱۶	۸۴/۴	۳ (۰/۴۱۵)، ۱۳ (۰/۱۷۹) و ۲۰ (۰/۲۵۴)
۱۷	۸۳/۱	۳ (۰/۵۹۴) و ۱۳ (۰/۲۳۶)
۱۸	۱۰۰	
۱۹	۹۵/۹	۳ (۰/۹۵۹)
۲۰	۱۰۰	
	۷۲/۰۴	

میانگین کارایی واحدهای ناکارا

*واحدهای کارا که به عنوان الگوی واحدهای ناکارا برای بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها مشخص شده‌اند. اعداد داخل پرانتز، ضریب‌های متغیر تصمیم هر کدام از واحدهای الگو می‌باشند که به عنوان توصیه‌ای برای کارآمد شدن واحد ناکارا مورد نظر در مصرف کسری از مقدار مصرف نهاده‌های واحد الگو بیان شده‌اند.

با توجه به نتایج جدول ۵ مقدار مازاد نهاده‌های مختلف

در واحدهای ناکارا مشخص شده‌اند. به عنوان مثال واحد شماره

۲ مقدار انرژی نیروی انسانی معادل ۳۱۰، ماشین‌آلات ۳۸۱، کود

نیتروژن ۱۴۶۷، کود فسفات ۳۰۷، کود پتاس ۷۹، کود دامی

۴۴۳، علف‌کش ۷۲، قارچ‌کش ۲۲، حشره‌کش ۱۶۲ و آب ۱۲۱۵

مگاژول در هکتار، بیشترین مصرف انرژی را داشتند (جدول ۵).

در صورتی که توصیه‌های کاهش مصرف نهاده‌ها در

واحدهای مذکور مورد استفاده قرار گیرند، مقدار ۸۵۳۳/۵۲

مگاژول در هکتار از متوسط انرژی مصرفی کاهش خواهد

یافت. به عبارت دیگر متوسط انرژی مصرفی معادل

۱۵/۵۸ درصد کاهش خواهد یافت. سهم هر کدام از نهاده‌ها در

این کاهش مصرف متفاوت بوده و بیشترین سهم در این

به منظور رتبه‌بندی واحدهای کارا مجموع وزن‌های آنها

محاسبه گردید و به این ترتیب واحد شماره ۳ کاراترین واحد

تولیدی شد (جدول ۴).

جدول ۴ رتبه‌بندی واحدهای کارا و الگوی واحدهای ناکارا با توجه به

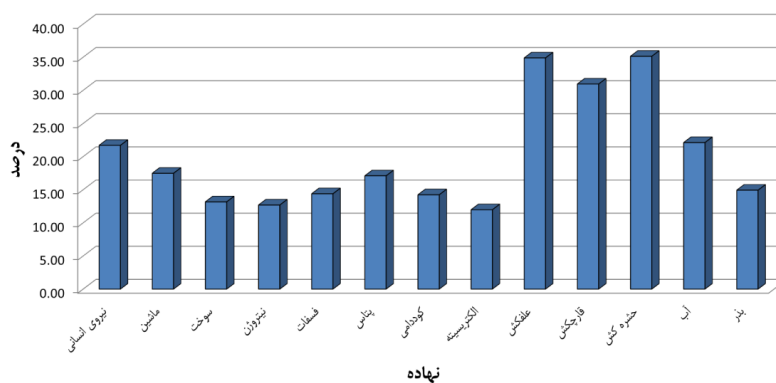
مجموع ضریب‌های متغیر تصمیم آنها

مجموع وزن‌ها	واحد تولیدی
۷/۰۵۵	۳
۱/۶۹	۴
۱/۴۴	۱۳
۱/۳۸۸	۵
۱/۲۹۷	۲۰
۱/۲۵۹	۱۸
۱/۰۶۵	۸
۱	۱۱
۱	۱

کاهش را حشره‌کش با ۳۵/۱۴ درصد و کمترین مقدار را الکتریسیته با ۱۱/۹۷ درصد به خود اختصاص دادند (شکل ۴).

جدول ۵. مازاد مصرف انرژی در هریک از مزارع تولید چغندر قند (مگاژول در هکتار)

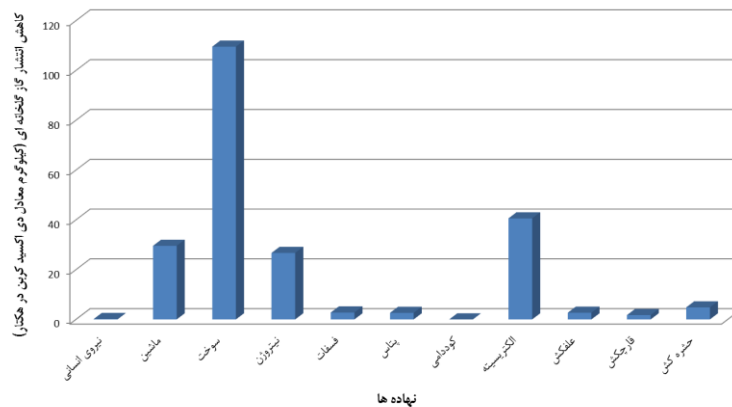
واحد	نیروی انسانی	ماشین	سوخت	نیترژن	فسفات	پتاس	کود دامی	الکتریسیته	علفکش	قارچ‌کش	حشره‌کش	آب	بذر
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۳۱۰	۳۸۱	۰	۱۴۶۷	۳۰۷	۷۹	۴۴۳	۰	۷۲	۲۲	۱۶۲	۱۲۱۵	۱۶
۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	۳۳۲	۲۷۲	۳۶۲	۰	۵۸	۱۶۳	۵۲۳	۴۶	۲۴۸	۲۱۰	۲۹۱	۲۱۶۵	۱۷
۷	۴۵۶	۲۶۹	۴۲۱	۳۸۳	۳۱	۹۸	۰	۰	۱۰۹	۰	۳۱۲	۲۷۰۶	۴۵
۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۹	۸۰۹	۹۲۶	۴۲۳۷	۲۷۷۴	۳۷۳	۰	۸۳	۱۲۳۰	۴۲۰	۴۴۱	۰	۵۲۰۱	۳۴
۱۰	۲۱۲	۳۶۱	۲۰۹۸	۱۰۹۰	۲۰۸	۳۳۶	۸۷۵	۴۲۴	۴۹	۱۰۸	۲۲۶	۸۶۶	۰
۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲	۴۰۸	۳۵۹	۲۵۷	۰	۱۷۹	۲۷۸	۲۲۶	۱۵	۱۷۵	۲۹	۲۶	۳۳۱۳	۱۶
۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۴	۵۸۰	۵۴۷	۱۱۰۰	۱۱۵۹	۱۳۰	۰	۲۲۰	۴۱۲	۲۸۷	۱۱	۰	۳۸۱۲	۲۳
۱۵	۳۳۳	۳۲۶	۱۲۱۴	۵۵۷	۲۱۸	۹۴	۱۳۱	۰	۱۳۳	۰	۹۸	۲۴۳۲	۰
۱۶	۲۱۴	۲۰۶	۹۳۴	۱۱۵۴	۱۶۳	۲۸۷	۰	۱۰۰۵	۹۸	۰	۰	۲۲۸۹	۰
۱۷	۲۲۵	۳۰۱	۱۵۲۶	۱۷۱۸	۳۳۲	۲۷۷	۰	۱۱۹۲	۳۶	۳۲	۹۳	۲۴۸۸	۰
۱۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۹	۱۱۹	۱۵۲	۱۳۶۴	۴۴۳	۷۳	۲۲	۳۱۵	۱۹	۷۴	۱۱۳	۱۸	۱۲۵۰	۰
۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰



شکل ۴. سهم کاهش مصرف انرژی (درصد) هریک از نهاده‌ها در تولید چغندر قند

گلخانه‌ای، ۲۲۱/۲۱ کیلوگرم کاهش خواهد یافت که معادل ۱۳/۷۱ درصد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد بود. بیشترین و کمترین سهم در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ترتیب مربوط به سوخت دیزل و کود دامی با ۱۰۹/۵۵ و ۰/۰۰۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار بود (شکل ۵).

مقدار متوسط شاخص بهره‌وری انرژی ۰/۶۱ مگاژول در هکتار بود (Younesi Alamouti et al. 2024). در صورتی که مقدار صرفه‌جویی فوق‌الذکر در استفاده از نهاده‌های مختلف انجام شود باعث خواهد شد تا متوسط بهره‌وری انرژی مزارع به ۰/۷ کیلوگرم بر مگاژول ارتقاء یابد. با در نظر گرفتن مقدار صرفه‌جویی نهاده‌ها و تبدیل آنها به مقدار انتشار گازهای



شکل ۵ مقدار کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در هکتار) پس از بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها

نتیجه‌گیری

به‌منظور بهینه‌سازی مصرف سوخت پیشنهاد می‌شود از ماشین‌های مرکب در عملیات تهیه زمین و کاشت استفاده شود. همچنین جایگزینی ماشین‌های با بازده بالاتر به‌جای ماشین‌های فرسوده و کهنه پیشنهاد می‌گردد. به‌جای عملیات کودپاشی و کودکاری از روش کوددهی همراه با آبیاری استفاده گردد. همچنین مقدار نیاز کودی (به‌ویژه نیترژن) پس از انجام آزمایش مربوطه، تعیین شده، سپس کوددهی انجام شود. توصیه می‌شود به‌جای مبارزه شیمیایی با آفات و بیماری‌ها از روش‌های جایگزین از قبیل بیولوژیکی و مدیریت تلفیقی استفاده شود. ضمناً نوع و دوز سموم مصرفی طبق توصیه کارشناس مربوطه انجام شود تا باعث افزایش بهره‌وری سموم گردد. استفاده از تجهیزات نوین آبیاری به‌ویژه الکتروموتورها و پمپ‌های کارآمد، می‌تواند انرژی معادل آب آبیاری و برق مصرفی را در واحدهای تولیدی کاهش دهد. به‌کارگیری تناوب زراعی مناسب مناطق مورد مطالعه می‌تواند باعث کاهش مصرف نهاده‌ها و در نتیجه کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌ها گردد.

متوسط انرژی مصرفی در تولید چغندر قند در استان قزوین ۵۴۷۴۹/۳۹ مگاژول در هکتار محاسبه شد. متوسط شاخص بهره‌وری انرژی در تولید چغندر قند استان ۰/۶۱ کیلوگرم در مگاژول بود. بیشترین سهم انرژی مصرفی نهاده‌ها در تولید چغندر قند مربوط به سوخت دیزل، کودنیترژن، آب آبیاری و الکتريسيته و کمترین آن مربوط به بذر به‌دست آمد. متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای از هر هکتار مزرعه چغندر قند نیز ۱۶۱۳/۲ کیلوگرم معادل گاز دی‌اکسید کربن بود. بیشترین سهم در انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به مصرف سوخت دیزل، الکتريسيته، کودنیترژن و ماشین‌های کشاورزی بود. کاهش مصرف انرژی با استفاده از توصیه‌های حاصل از الگوبرداری از واحدهای کار، مربوط به نهاده‌های حشره‌کش، علف‌کش و قارچ‌کش برآورد شد. پس از به‌کارگیری توصیه‌ها در واحدهای ناکارا و تبدیل آنها به واحدهای کارا متوسط انرژی مصرفی، بهره‌وری انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ترتیب ۴۶۲۱۵/۸۶ مگاژول در هکتار، ۰/۷ کیلوگرم بر مگاژول و ۱۳۹۱/۹۸ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار خواهد شد.

References:**منابع مورد استفاده:**

- Anonymous. Agricultural statistics of crops. Center for Statistics, Information and Communication Technology, Vice President of Economic Planning, Ministry of Agricultural Jihad. Volume 1: Crops. 2023. [In Persian]
- Anonymous. Top 20 Countries Production of Sugar beet 2022. https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. (Accessed 2024/04/06)
- Babaeian M, Tavassoli A, Salehi MH. Quantification energy use pattern and greenhouse gas emissions in cultivation of sugar beet (Case study: Village farms of Hosseinabad of Shirvan city). *Rural Development Strategies*. 2021; 8(2): 201-212. [In Persian]
- Dyer JA, Desjardins RL. Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada. *Biosyst. Eng J*.2006; 93(1):107-118. **doi:10.1016/j.biosystemseng.2005.09.011.**
- Ekinci K, Demircan V, Atasay A, Karamursel D, Sarica D. Energy, economic and environmental analysis of organic and conventional apple production in Turkey. *Erwerbs- Obstbau*. 2019; 62:1–12. **doi:10.1007/s10341-019-00462-0.**
- Erdal G, Esengun K, Erdal H, Gunduz O. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Takat province of Turkey. *Energy*. 2007; 32:35-41. **doi:10.1016/j.energy.2006.01.007.**
- Gholami ghajelou J, Ghanbarian D, Maleki A, Torchi Harchegani M. Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet fields in Miandoab city, West Azerbaijan province. *Journal of Sugar Beet*. 2015; 31(1): 109-122. **doi: 10.22092/JSB.2015.101955** [In Persian]
- Kitani O. CIGR handbook of agricultural engineering, Volume 5: Energy and biomass engineering. ASAE Publications.1999; St Joseph, MI.
- Lal R. Carbon emission from farm operations. *Environment International*.2004; 30(7), 981-990. **doi:10.1016/j.envint.2004.03.005.**
- Moosavi- Nezhad M, Salehi R, Aliniaiefard SS, Winans, Nabavi-Pelesaraei A. An analysis of energy use and economic and environmental impacts in conventional tunnel and LED-equipped vertical systems in healing and acclimatization of grafted watermelon seedlings. *Journal of Cleaner Production*. 2022; 132069. **doi:10.1016/j.jclepro.2022.132069.**
- Nabavi- Pelesaraei A, Abdi R, Rafiee S, Mobtaker HG. Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. *Journal of Cleaner Production*. 2014; 65:311-317. **doi:10.1016/j.jclepro.2013.08.019.**
- Ozkan B, Akcaoz H, Fert C. Energy input– output analysis in Turkish agriculture. *Renew Energy*. 2004; 29: 39–51. **doi:10.1016/S0960-1481(03)00135-6.**
- Pervanchon F, Bockstaller C, Girardin P. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agric. Syst. J* 2002; 72:149-172. **doi:10.1016/S0308-521X(01)00073-7.**

- Pishgar- Komleh SH, Keyhani A, Mostofi-Sarkari MR, Jafari A. Energy and economic analysis of different seed corn harvesting systems in Iran. *Energy*. 2012; 43(1):469-476. **doi:10.1016/j.energy.2012.03.040.**
- Rafiee S, Mousavi Avval H, Mohammadi A. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy*. 2010; 35(8):3301-3306. **doi:10.1016/j.energy.2010.04.015.**
- Rezadoost S. Energy efficiency in agricultural ecosystems. Proceedings of the third national energy conference of Iran. Tehran. 2001. P. 457-466. [In Persian]
- Rostami S, Lotfalian M, Hosseinzadeh Samani B, Gasemi-Varnamkhasti. Energy flows modeling and economic evaluation of watermelon production in Fars province of Iran. *International Journal of Agricultural Management and Development*. 2018; 8(1):65-79. [In Persian]
- Sedaghat Hosseini M, Mohammadi A, Arezou M, Beheshti AMK. Determination of relationship between wheat farm size and energy indexes in west Azerbaijan province, Iran. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. 2014; 16(3): 131-137
- Singh H, Singh AK, Kushwaha HL, Singh A. Energy consumption pattern of wheat production in India, Division of Agricultural Engineering and Energy, Central Arid Zone Research Institute, India. 2007; 32: 1848-1854. **doi:10.1016/j.energy.2007.03.001.**
- Shirvani Boroojeni M, Zaki Dizaji H, Soleymani M. Investigating environmental effects and energy consumption in sugar beet production and predicting crops yield using ANN and ANFIS models in Chaharmahal and Bakhtiari provinces of Iran. *Agricultural Machinery Mechanics Research Journal*. 2021; 9(2): 107-118. [In Persian]
- Soleymani G, Abdi R, Ghanbari M, Loghmanpour Zarin R. Evaluation and optimization of energy consumption and greenhouse gas emissions of sugar beet production with the method of data envelopment analysis. *Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University*. 2023; 20(1): 133-153 [In Persian]
- Tzilivakis J, Lewis KA, Williamson AR. A prototype framework for assessing risks to soil functions. *Environmental Impact Assessment Review*. 2005; 25(2), 181-195. **doi:10.1016/j.eiar.2004.02.003.**
- Vahedi A. The study of the course of energy consumption and economic analysis of rapeseed production in Tehran province. Agricultural Engineering and Technical Research Institute. Final report of the research project with code 44831. 2014. [In Persian]
- Uhlin H. Why energy productivity is increasing: An I-O analysis of Swedish agriculture. *Agric. Syst*. 1998; 56:443-465.
- Younesi Alamouti M, Vahedi A, Sedaghat Hosseini M. Energy requirements for sugar beet cultivated in Iran: A case study in Qazvin province. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2024; 26 (1):140-147.
- ZakiDizaji H, Haroni S, Sheikhdavoodi M J, SafieddinArdebili SM, González Alriols M, Kiani MKD. An investigation on the environmental impacts and energy efficiency of biogas and bioethanol production from sugarcane and sugar beet molasses: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2021; 1-15. **doi:10.1080/15567036.2021.1898493.**

Energy efficiency and greenhouse gas emission in sugar beet production in Qazvin province and determination of efficient and inefficient units using data envelopment analysis method

M. Younesi Alamooti¹, A. Vahedi² and M. Sedaghat Hosseini³

(Received 9 Apr. 2024 ; Accepted 23 Jun. 2024)

M. Younesi Alamooti A. Vahedi M. Sedaghat Hosseini. 2024. Energy efficiency and greenhouse gas emission in sugar beet production in Qazvin province and determination of efficient and inefficient units using data envelopment analysis method. *J. Sugar Beet*. 39(2): 197- 208 (in Persian).

Abstract

Sugar beet is one of the country's strategic products, which was produced to more than 6 million tons in 2022 that ranked Iran as twelfth among other countries. Today, the increase in the consumption of inputs, especially fossil fuels, in order to ensure food security, has caused an increase in the emission of greenhouse gas. This study was conducted in order to determine and optimize energy indices and greenhouse gas emission in sugar beet production in Qazvin province. The required information was collected through interviews with 20 sugar beet growers in Qazvin province in the form of questionnaire. Total energy consumption and energy productivity were 54749.39 MJ/ha and 0.61 kg/MJ, respectively. The highest share of energy consumption was related to diesel fuel, nitrogen fertilizer, water and electricity with 26, 23, 20 and 12% respectively. The average greenhouse gas emission was 1613.2 Kg CO₂eq.ha⁻¹, and the share of diesel fuel, electricity, nitrogen fertilizer and machinery was 52, 21, 13 and 11% respectively. Results showed that among 20 studied fields, 9 agricultural units were efficient in terms of energy consumption and 11 other units were inefficient. Also, it is possible to save energy consumption equal to 15.58%, through reducing the consumption of inputs, without reducing the performance of inefficient units and turning them into efficient units. This amount of saving can reduce 13.71% of greenhouse gas emission and improve energy efficiency to 0.7 kg ha⁻¹ in sugar beet production in the region.

Keywords: Energy indices, greenhouse gas, sugar beet production

1 Faculty member of Agricultural Research, Education and Extension Organization. *-Corresponding author contact information email: mohamadyunesi@yahoo.com.

2 Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

3 Imam Khomeini Higher Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.