

Investigating the efficiency and energy consumption in sugar beet production

Hamid Mohammadi^{1*}, Alireza Sargazi¹, Elahe Ahani², Mohammadjavad Mehdizadeh rayeni¹

(Received: 27 Oct. 2024 ; Accepted: 20 Feb. 2025)

How to cite this article:

Mohammadi H, Sargazi A, Ahani E, Mehdizadeh rayeni MJ. Investigating the efficiency and energy consumption in sugar beet production. 2024; (40)2: 251-268. (In Persian with English abstract). DOI: <https://doi.org/10.22092/jsb.2025.367487.1376>

Extended Abstract

Introduction

Increasing sugar beet production through intensified use of production factors and major technological breakthroughs involves considerable limits. A policy to implement a planting pattern adapted to the ecological and climate conditions of each region, identifying which crop types are compatible with those conditions and provide the highest yield to growers, has been presented. The importance of this issue is reflected in the notified programme, where cereals and irrigated sugar beet are among the crops designated for cultivation in temperate areas, such as South Khorasan Province. Therefore, it is necessary to evaluate how energy is consumed in agro-ecosystems in order to increase their output and their long-term stability. The aim of efficiency calculation in economics is to avoid waste of resources and to determine whether the output of the economic unit is in the best and most profitable condition.

Materials and Methods

The efficiency of sugar beet growers was measured using a bounded Data Envelopment Analysis (DEA) approach. Calculating the computational efficiency of an optimal or efficient approach is referred to as best relative efficiency or optimistic efficiency. The pessimistic DEA model calculates the set of most unfavorable weights for each unit. One of the main objectives of this study was to calculate the direct energy consumption of sugar beet production. Electrical energy consumption was considered as one of the inputs. After calculating the energy associated with the effective inputs contributing to the total input energy of the

product, energy efficiency indices, energy productivity, and net energy were calculated. The statistical population of this study consisted of sugar beet growers in the Islamabad Plain of Qaen county. The necessary data were collected through expert interviews and by completing 48 questionnaires from a random sample of sugar beet growers in Qaen county. After determining the quantity of each input used per hectare of crop, growers' efficiency was evaluated. To determine energy consumption, the quantity of each input used was converted into its energy equivalent.

Results and Discussion

Of the units studied, 11 units exhibited the required efficiency and were considered as reference units for the managing input consumption. Additionally, 23 units were found to have below-average efficiency, producing less output with the same input compared with other units. A production rate of 0.70 sugar beet per input unit indicates a higher yield with optimal and specific input consumption. Notably, 8.3% of the growers did not use inputs effectively or efficiently. The energy output or sugar beet production, was calculated to be 442.61 gigajoules per hectare, which exceeds the average total energy consumption. Examination of the proportion of inputs consumed per hectare revealed that the most significant ratios were attributed to various fertilizers (28%), diesel fuel (26%), and chemical pesticides (12%). Overall, the average total energy input was 12%, and the average energy output was 13%. The energy input for sugar beet production, estimated at 403.5 gigajoules per hectare, was calculated on the basis of the average consumption of labor, diesel fuel, irrigation water, fertilizer, chemical pesticides, and seed. The energy efficiency ratio for sugar beet was 1.09, and the

1. Agricultural Economic Department, University of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding author: hamidmohammadi1378@gmail.com

2. Agricultural Economics and Accounting Department, Bozorgmehr University of Qaenat and Torbat Heydariyeh, Torbat Heydariyeh, Iran.

energy efficiency of 0.06 kg of sugar beet per unit of energy was recorded. Low efficiency in these units can be improved by increasing production without increasing input consumption. According to the results of the study, improving input efficiency is recommended as an effective approach to reduce environmental impacts while increasing economic output per hectare. On average, 22% of growers demonstrated better technical performance than their peers. Therefore, it is necessary to provide a platform for successful sugar beet growers to share their experience and methods with others. Furthermore, the average output-oriented efficiency of 1.76 per unit of sugar beet production indicates that a lower value corresponds to higher efficiency, i.e., less input consumption for producing a given quantity of product. Overall, 8.3% of growers did not use inputs efficiently or effectively. The results of energy efficiency suggest that managing agricultural systems by optimizing the use of chemical fertilizers, introducing varieties with high nutrient uptake efficiency, and implementing crop rotation can reduce chemical fertilizer use on fields. After fertilizers, the largest share of total energy inputs is attributed to fuel consumption (diesel) estimated at 946.08 gigajoules per hectare. The average energy efficiency of 1.09 indicates an increase in energy consumption due to higher yield growth than energy input, consistent with findings from studies on Iranian agricultural products.

Conclusion

Based on the results of this research, the following recommendations are proposed: identifying efficient units and using them as models, while also recognizing inefficient units and giving them particular attention, can facilitate improvements in overall effectiveness.

Evaluating the underlying causes of inefficiency in the field is essential for informed decision-making and performance enhancement.. Efforts should also focus on optimizing energy consumption by reducing reliance on non-renewable energy sources and increasing the adoption of renewable alternatives. Furthermore, promoting the use of organic fertilizers can significantly contribute to lowering energy consumption in this sector.

Keywords: Data coverage analysis, Energy consumption efficiency, Energy ratio.

References

- Ahani E, Mohammadi H, Esfahany SM. Determining the efficiency of farmers by emphasizing the correct management of chemical inputs consumption and environmental effects (case study: beet growers of Qain city), *Journal of Environmental Science and Technology*. 2023; 10(25): 89-107. (In Persian with English abstract).
- Adom PK, Amakye K, Abrokwa KK, Quaidoo C. Estimate of transient and persistent energy efficiency in Africa: A stochastic frontier approach. *Energy Conversion and Management*. 2018; 166: 556-568. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.e.2018.04.038>
- Fulai Y, Xiaoqiang L, Wenqiang B, Junliang F, Fucang Z, Youzhen X, Xianghao H, Shengzhao P, Yulong D, Hualiang Z. Multi- objective optimization of water and nitrogen regimes for drip-fertigated sugar beet in a desert climate, *Volume 288*, 1 November 2022, 108703. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108703>.

بررسی کارایی و مصرف انرژی در تولید چغندرقد[†]

حمید محمدی^{۱*}، علیرضا سرگزی^۱، الهه آهنی^۲، محمد جواد مهدی‌زاده رایینی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2025.367487.1376

ح. محمدی، ع. سرگزی، ا. آهنی، م.ج. مهدی‌زاده رایینی، ۱۴۰۳. بررسی کارایی و مصرف انرژی در تولید چغندرقد. چغندرقد ۴۰(۲): ۲۵۱-۲۶۸

چکیده

افزایش سطح تکنولوژی، سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی و کاربرد نهاده‌های تولید اثرات مهمی بر افزایش تولید محصولات کشاورزی دارد. از طرفی افزایش سطح نهاده‌ها و فناوری به دلیل کمبود منابع در دسترس، با محدودیت روبه‌رو است؛ لذا بهترین راه جهت افزایش تولید، بهبود کارایی و بهره‌وری است. پژوهش حاضر با هدف تعیین کارایی و مصرف انرژی در تولید چغندرقد در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام گرفت. جامعه آماری این تحقیق، جمعیت چغندرکاران دشت اسلام‌آباد شهرستان قائنات در استان خراسان جنوبی بودند. اطلاعات لازم از طریق مصاحبه با کارشناسان و تکمیل ۴۸ پرسشنامه از میان چغندرکاران نمونه شهرستان قائنات به روش تصادفی جمع‌آوری گردید. پس از تعیین مقدار مصرف هر نهاده در تولید یک هکتار از محصول، کارایی کشاورزان تعیین و برای تعیین مقدار مصرف انرژی هر نهاده مصرفی به هم‌ارز انرژی آن تبدیل شد. میانگین کارایی بهینه کشاورزان در حالت ستاده محور برابر ۱/۷۶ محاسبه شد. به عبارتی ۲۷ درصد کشاورزان روی مرز کارا واقع شدند و از کارایی بالقوه برخوردار بودند. انرژی‌های ورودی برای تولید چغندرقد ۴۰۳/۵ گیگاژول در هکتار، از متوسط نیروی انسانی، سوخت دیزل، آب آبیاری، کودها، سموم شیمیایی، بذر مصرفی محاسبه شد. کارایی انرژی برای چغندرقد ۱/۰۹ و بهره‌وری انرژی ۰/۰۶ کیلوگرم است. کل انرژی ورودی چغندرقد برابر ۴۰۳/۵ گیگاژول در هکتار معادل ۱۲ درصد است که مهمترین دلیل آن وابستگی روزافزون نظام‌های زراعی کشور به منابع تجدیدنپذیر است. در این راستا هدایت نظام‌های زراعی به سمت کشاورزی پایدار و استفاده بهینه از منابع تولید و کاهش مصرف نهاده انرژی به‌ویژه نهاده‌های با مصرف بالا از جمله کودهای شیمیایی و سوخت ضروری است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، چغندرقد، قائنات، کارایی مصرف انرژی

[†] - این مقاله حاصل طرح مطالعاتی و تحقیقاتی نویسندگان است.

۱. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

* - نویسنده مسئول: hamidmohammadi1378@gmail.com

۲. مدرس گروه حسابداری و اقتصاد کشاورزی دانشگاه بزرگمهر قائنات و تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris*) یکی از محصولات صنعتی و راهبردی کشور به شمار می‌رود و زراعت این محصول و صنایع وابسته به لحاظ اشتغال و تأمین قند و شکر داخلی در اقتصاد کشور نقش مهمی دارد. افزایش تولید چغندر قند از طریق افزایش کاربرد عوامل تولید و تغییرات عمده فناوری با محدودیت‌هایی روبه‌رو است. در این راستا سیاست اجرای الگوی کشت متناسب با شرایط اکولوژیکی و اقلیمی هر منطقه و اینکه چه نوع محصولی و سازگار با چه شرایطی و از طرفی بیشترین بهره‌وری که نصیب کشاورز می‌شود، ارائه گردید. اهمیت این موضوع به حدی است که در برنامه ابلاغی، کشت غلات، دانه‌های روغنی و چغندر آبی، سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) و عدس (*Lens culinaris*) دیم از جمله محصولاتی است که کاشت آن براساس الگوی کشت در نواحی معتدل و سرد مانند استان خراسان جنوبی در اولویت قرار گرفت. بنابراین اصلاح الگوی کشت بر سه اصل نیاز، اقلیم و اقتصاد هر منطقه و با هدف توجیه اقتصادی کشاورزان پایه‌ریزی شده است (Ebrahimipak and Mostashari 2012). میانگین تولید چغندر قند در استان خراسان جنوبی در هر هکتار به میزان ۱۶/۳۵۱ هزار تن است که بیشترین سطح زیرکشت در استان را شهرستان قائنات به میزان ۳۷۵ هکتار به خود اختصاص داده است (Anonymous 2017).

همچنین کاشت چغندر قند از نظر تأمین مواد غذایی، ایجاد اشتغال، تأمین ارز و روابط آن با سایر بخش‌ها و سهمی که در تولید ناخالص ملی دارد، قابل ملاحظه می‌باشد. لذا، به منظور افزایش تولید از چغندر قند، باید از طریق بالا بردن عملکرد در واحد سطح، بهبود کارایی و کاربرد اصول اقتصادی در افزایش بازده و به کارگیری صحیح مصرف نهاده‌ها اقدامات لازم صورت گیرد (Arel and Pede 2021). در سال‌های اخیر، تلاش در جهت استفاده بهتر از منابع انرژی مورد توجه دولت‌ها قرار گرفته است که بخش کشاورزی نیز از این قاعده مستثنی نبوده است. اکوسیستم‌های فشرده همانند بخش کشاورزی نسبت به اکوسیستم‌های طبیعی تولید بالاتری دارند که این تولید بالاتر

فقط به کمک مقادیر قابل توجهی انرژی کمکی بدست می‌آید که به وسیله انسان در کاشت، آبیاری، مصرف کود، مبارزه با آفات، امراض و غیره مصرف می‌شود (Najafi et al. 2020). بنابراین با توجه به این که بخش کشاورزی از طرفی با محدودیت منابع تولید روبه‌رو بوده و از سوی دیگر، تأمین کننده‌ی امنیت غذایی جمعیت در حال رشد می‌باشد، باید تعادل و توازن میان جریان برداشت و بهره‌وری از منابع تولید محصولات کشاورزی، ایجاد شود (Titus et al. 2021).

به همین دلیل در نظام کشاورزی به منظور افزایش تولید و تثبیت آن در بلندمدت، همگام با رعایت اصول اکولوژیک و حفظ پایداری سیستم‌های تولید، ضروری است چگونگی مصرف انرژی در بوم-نظام‌های زراعی مورد ارزیابی قرار گیرد. با این تفاسیر در سیستمی که روند انرژی و تولید انرژی در تعادل نباشد، نمی‌توان ادعا کرد که از لحاظ کارایی، انرژی وضعیت باثبات و پایداری دارد (Amini et al. 2021). قابل ذکر است هدف از محاسبه کارایی در بخش‌های اقتصادی، به منظور جلوگیری از هدر رفتن منابع و تعیین اینکه تولیدات یک واحد اقتصادی در بهترین و پرسودترین حالت ممکن قرار دارند، از اهمیتی ویژه‌ای برخوردار است.

اکثر محققان از روش تحلیل پوششی داده‌های کلاسیک یا معمولی به منظور بررسی و تحلیل، کارایی را تنها از منظر خوشبینانه محاسبه می‌کنند که در این دیدگاه مرز کارایی را ترکیب محدبی از واحدهای کارا ایجاد می‌کند. این روش به دلیل اینکه کارایی را تنها از منظر بهینه یا خوشبینانه محاسبه کرده و یک عدد دقیق و قطعی را به عنوان کارایی واحد نشان می‌دهد قادر نیست ارزیابی جامعی از کارایی ارائه کند و به‌ویژه برای بخش کشاورزی که همواره با ریسک و عدم اطمینان همراه است، مناسب به نظر نمی‌رسد. به همین دلیل در زمینه‌ی اصلاح این روش و برطرف کردن نقاط ضعف آن تلاش‌هایی انجام شده است تا بتوان ارزیابی جامع‌تری از کارایی ارائه کرد (Farrell 1957). در این راستا برخی محققان (Azizi and Jahed 2011)، مدلی به منظور بررسی کارایی واحدها براساس دو دیدگاه خوشبینانه و بدبینانه یا (بهینه و غیر بهینه) ارائه کردند که مدل

نتایج حاصل شده از بررسی مطالعات گذشته حاکی از آن بود که انرژی ورودی در بخش کشاورزی ایران در سال ۱۳۸۵ نسبت به ۱۳۶۹، ۷/۳ درصد افزایش یافته است و انرژی خروجی در طی همین دوره، ۲۹/۳ درصد افزایش داشته است. همچنین در مطالعات منطقه‌ای انجام شده، کارایی و بهره‌وری چغندر قند به‌عنوان مهمترین محصول مصرف‌کننده انرژی در چین مورد بررسی قرار گرفت (Ying et al. 2012). مقدار انرژی مصرفی ورودی برای تولید چغندر قند به دلیل متفاوت بودن فاکتورهای محیطی از جمله شرایط آب و هوایی، مقدار مصرف کود و سم، نوع خاک در هر منطقه، بر عملکرد چغندر قند و در نهایت بر بهره‌وری آن اثرگذار است (Van Nguyen et al. 2021). به طوری که در پژوهشی نتایج حاصل از مقایسه کارایی انرژی چغندرکاران در بازه زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ حاکی از آن بود که استان‌های سمنان، آذربایجان غربی، همدان و اصفهان در هر چهار روش استفاده از پانل دیتا، بیشترین کارایی انرژی را دارا بودند و استان‌های خراسان جنوبی، خراسان شمالی و چهار محال بختیاری کمترین کارایی انرژی را به خود اختصاص دادند (Najafi et al. 2020).

نتایج بررسی حاصل از بررسی محصولات زراعی از جمله چغندر قند نشان داد ۵۷ درصد از کل انرژی مصرفی در تولید چغندر قند انرژی مستقیم و ۴۳ درصد باقی مانده انرژی غیرمستقیم بوده است (Adom et al. 2018). همچنین میزان انرژی نیروی انسانی در تولید چغندر قند را ۳۶ درصد و ماشین‌آلات ۲۲ درصد محاسبه گردید که در این بررسی این دو نهاده جزء نهاده‌ها پرمصرف انرژی شناسایی شده بود (Zahedi et al. 2015). در مطالعه دیگر کارایی مصرف انرژی و تحلیل اقتصادی چغندر قند در ایران به‌صورت موردی برای گروهی از چغندرکاران شهرستان شیروان واقع در استان خراسان رضوی انجام گرفت. در این بررسی از کل انرژی مصرفی در تولید چغندر قند ۳۸/۳۹ درصد مربوط به مصرف کودهای شیمیایی، ۲۵/۹۵ درصد مربوط به سوخت دیزل و ۱۲/۶۹ درصد مربوط به الکتریسیته می‌باشد (Babaeian et al. 2021). بررسی روند مصرف انرژی در بخش کشاورزی ترکیه نشان داد انرژی ورودی در بخش کشاورزی ترکیه، در سال ۱۳۷۸ نسبت به سال ۱۳۵۳،

پیشنهادی آن‌ها به دلیل اینکه تنها از یک نهاده و ستاده برای ارزیابی کارایی استفاده می‌کند برای کاربرد در بسیاری از بنگاه‌ها که دارای چندین نهاده و ستاده هستند مناسب نیست. بنابراین برای تعیین بهترین و بدترین کارایی نسبی استفاده از واحدهای مجازی مطلوب (IDMU) که بیشترین مقدار محصول را با استفاده از کمترین مقدار نهاده تولید می‌کند و همچنین واحد مجازی نامطلوب (ADMU) که بیشترین مقدار نهاده را برای تولید کمترین مقدار محصول مصرف می‌کند را پیشنهاد شده است (Wang and Yang 2007). به همین دلیل در این مطالعه با بهره‌گیری از مطالعات انجام‌شده (Wang and Yang 2007; Azizi and Jahed 2011). تلاش شده است تا برخی از نارسایی‌های این مدل برطرف شده و کاربرد آن در مواردی که یک واحد تصمیم‌گیری دارای چندین نهاده و ستاده باشد یا زمانی که مقدار یکی از نهاده‌ها صفر باشد امکان‌پذیر شود.

به‌طور کلی تجزیه و تحلیل کارایی بهره‌برداران چغندر قند می‌تواند امکانات افزایش تولید چغندر قند با مجموعه مشخصی از منابع و عوامل تولید (افزایش عملکرد) را تعیین و در ادامه منجر به افزایش کارایی مجموعه این منابع و عوامل در فرآیند تولید این محصول گردد.

بررسی مطالعات در داخل و سایر کشورها نشان می‌دهد که رهیافت‌های مختلفی برای تعیین کارایی کشاورزان به‌کار گرفته شده است. روش تحلیل مرزی تصادفی (Ohadi et al. 2020) و تغییر کارایی از طریق انتخاب نوع نهاده ورودی یا به‌عبارتی بهره‌وری عوامل تولید در مزارع وان (Van Nguyen et al. 2021) و تعیین کارایی با استفاده از داده‌های کراندار یا به توصیفی دیگر روش مرزهای کارا و ناکارا از جمله این مطالعات است (Ahani et al. 2023). استفاده بهینه از نهاده‌های کشاورزی به‌عنوان مثال آب و کود فسفات در تولید چغندر قند علاوه بر افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه تولید، منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است و از اثرگذاری منفی مصرف بی‌رویه نهاده‌های تولید بر محیط زیست می‌کاهد (Fulai Yan et al. 2022).

یک گیاه صنعتی مهم از میزان مصرف بالای نهاده‌ها در بخش کشاورزی برخوردار است و استفاده از ماشین‌آلات، نیروی کار، کودها و سموم شیمیایی در این محصول نسبت به بسیاری از گیاهان زراعی بیشتر است این امر باعث شده تا تولید آن وابستگی زیادی به انرژی‌های ورودی داشته باشد، لذا هدف از انجام مطالعه حاضر شناسایی جریان انرژی و محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید محصول چغندر قند است که می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب جهت کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری در نواحی روستایی شهرستان، مورد توجه قرار گیرد. از این رو، امید است که نتایج مطالعه پیش‌رو بتواند با ارائه راهکاری برای افزایش کارایی همراه با افزایش میزان تولید و بدون استفاده از منابع بیشتر برای توسعه کشاورزی گام مؤثری برای کمک به کشاورزان منطقه برداشته شود.

مواد و روش‌ها

جامعه آماری این تحقیق، شامل تعدادی از چغندرکاران دشت اسلام‌آباد واقع در شهرستان قائنات استان خراسان جنوبی بودند. موقعیت جغرافیایی شهرستان قائنات در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهرستان قائنات

Fig. 1 The geographical location of Qayenat County

به‌شمار می‌رود. مساحت این بخش ۱۴۹۱ کیلومتر مربع است و بیش از ۲۳۰۰۰ نفر جمعیت دارد که در شمال استان خراسان جنوبی واقع شده است (Anonymous 2017). سطح زیرکشت چغندر قند در استان خراسان جنوبی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به

۵۷/۱ درصد افزایش یافته است. این در حالی است که انرژی خروجی آن در طی این دوره با افزایش ۳۰/۶ درصد همراه بوده است که نشان‌دهنده‌ی این است که برای بهبود کارایی میزان انرژی بیشتری استفاده شده است.

نتایج بابائیان و همکاران (Babaeian et al. 2021) حاکی از آن است که فعالیت‌های کشاورزی عامل انتشار حدود ۱۳ درصد CO_2 ، ۶۰ درصد NO_2 و ۵۰ درصد از متان است. بنابراین تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع خاص در فرآیندهای کشاورزی و شناسایی عوامل مؤثر بر آن نخستین گام برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

بررسی نتایج مطالعات انجام شده در بررسی کارایی تولیدکنندگان محصولات کشاورزی به‌ویژه محصولات زراعی این نتیجه حاصل شد که اکثر پژوهشگران به تعیین وضعیت کارا و ناکارا بودن واحدهای تولیدی اشاره داشته‌اند و تعداد معدودی علاوه بر بررسی کارایی، بهره‌وری و انرژی مصرفی در تولید محصول را مورد بررسی قرار داده‌اند. لذا مطالعه حاضر با نگاهی متفاوت از سایر پژوهش‌ها علاوه بر تعیین کارایی چغندرکاران در مصرف نهاده‌ها براساس روش ستاده-نهاده‌محور، به محاسبه شاخص کارایی انرژی و میزان انرژی ورودی و خروجی چغندر قند در دشت اسلام‌آباد از توابع شهرستان قائنات واقع در استان خراسان جنوبی پرداخته است. به علت اینکه چغندر قند به عنوان

دشت اسلام‌آباد حاصلخیزترین دشت در شهرستان قائنات است که از منابع غنی آب‌های زیرزمینی برخوردار است. این شهرستان دارای دو شرکت سهامی زراعی است و یکی از قطب‌های مهم کشاورزی استان خراسان جنوبی در تولید محصول چغندر قند

به مرز کارایی برسند. به عبارت دیگر واحدهایی به عنوان مرجع، ملاکی برای ارزیابی سایر واحدها قرار گرفته‌اند. همچنین مقدار غیربهمینه مصرف نهاده‌ها از تفاوت میان سطح جاری و مقدار بهمینه نهاده مصرف شده محاسبه شده است.

در ادامه علاوه بر کارایی کشاورزان در مصرف نهاده‌ها، میزان انرژی مصرفی برای تولید چغندر قند نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل تحلیل پوششی با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس کارایی فنی را ارائه می‌دهد که شامل کارایی فنی خالص (کارایی ناشی از مدیریت) و کارایی ناشی از صرفه‌جویی مقیاس یک بنگاه است. برای این امر، در فرمول‌بندی مسأله دوگان برنامه‌ریزی خطی با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس با اضافه کردن محدودیت $N\lambda = 1$ محاسبات با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس در رابطه (۱) ارائه شده است (Azizi and Jahed 2011).

$$\text{Min}_{\theta, \lambda} \theta$$

$$\text{St}$$

رابطه ۱

$$-Y_i + Y\lambda \geq 0$$

$$\theta_{xi} - X\lambda \geq 0$$

$$N\lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

براساس رابطه ۱ X_i و Y_i بترتیب بردارهای نهاده‌ها و ستاده‌های تولید کننده λ ، X و Y بترتیب ماتریس $K \times N$ نهاده‌ها و ماتریس $M \times N$ ستاده‌های تولید می‌باشد. θ میزان کارایی تولید کننده λ را نشان می‌دهد که در فاصله $0 \leq \theta \leq 1$ قرار می‌گیرد. مقدار $\theta = 1$ نشان‌دهنده آن است که بنگاه با کارایی فنی کامل است. λ بردار مقادیر ثابت است. در روش ناپارامتریک، تحلیل پوششی داده‌ها اگر بنگاهی روی مرز کارا موازی با محورها قرار گیرد، اندازه کارایی می‌تواند با مشکل روبرو شوند. به این دلیل که در این حالت امکان کاهش نهاده‌ها بدون کاهش تولید (اگر تحلیل نهاده‌گرا باشد) وجود خواهد داشت.

میزان ۷۸۶ هکتار است که در میان شهرستان‌های مختلف این استان، شهرستان قائنات با ۵۸۲ هکتار بیشترین میزان سطح زیرکشت را به خود اختصاص داده است (Anonymous 2017). تعداد کل کشاورزان چغندرکار منطقه حدود ۱۱۰ نفر است که از میان آن‌ها تعداد ۴۸ نفر با توجه به سطح زیرکشت، میزان تولید و سایر فاکتورهای مورد نظر به‌طور متوسط ۴۳ درصد چغندرکاران منطقه را به خود اختصاص داده‌اند و به عنوان نمونه انتخاب شدند. اطلاعات مورد نیاز از طریق تکمیل ۴۸ پرسشنامه توسط چغندرکاران و مصاحبه با کارشناسان بخش مربوطه و به دلیل اینکه اطلاعات کمی در مورد بهره‌برداران چغندرکار وجود دارد به صورت تصادفی، براساس مراحل کاشت، داشت و برداشت محصول دوره یک ساله ۹۹-۱۳۹۸ جمع‌آوری شد.

در مطالعه حاضر کارایی چغندرکاران با استفاده از رهیافت تحلیل پوششی داده‌های کراندار، که موقعیت هر واحد را نسبت به دو مرز کارایی و ناکارایی مشخص می‌کند کارایی مزارع چغندر قند اندازه‌گیری شد. روش انجام این پژوهش با بهره‌گیری از یکی از پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک برای اندازه‌گیری کارایی و با چارچوبی متفاوت از سایر پژوهش‌های انجام شده است. مقدار کارایی کشاورزان براساس روش تحلیل پوششی داده‌های کران‌دار در حالت ستاده - نهاده‌محور در حالت بهمینه و غیر بهمینه اندازه‌گیری شد. همچنین برای بخش کشاورزی که همراه با عدم قطعیت، شرایط پیش‌بینی نشده و نوسانات زیادی همراه است، این روش مناسب تشخیص داده شده است. معیار کارایی براساس حداکثر کردن محصول به ازاء هر واحد نهاده یا محصول‌گرا (Output-oriented) یا حداقل کردن نهاده به ازاء یک واحد محصول یا نهاده‌گرا (Input-oriented) سنجیده شده است که هدف اصلی در روش نهاده‌گرا، استفاده حداقل از نهاده‌ها با توجه به سطح معین محصول است (Farrell 1957). یکی دیگر از ویژگی‌های روش تحلیل فراگیر داده‌ها تعیین واحد مطلوب کارایی (به عنوان واحدهای مرجع و بازه کارایی) است که مقدار کارایی سایر واحدها براساس آن سنجیده می‌شوند و براساس آن می‌توان میزان مصرف نهاده‌ها را برای واحد ناکارا تعدیل کرد تا

$$u_r \geq \varepsilon, v_i \geq \varepsilon$$

یکی از مهمترین اهداف مطالعه حاضر، محاسبه انرژی مصرفی مستقیم در تولید چغندر قند بوده است. در این مطالعه به دلیل عدم وجود داده‌ها و اطلاعات لازم در مورد مقدار الکتریسیته مورد نیاز برای تولید محصولات زراعی، انرژی ورودی ناشی از مصرف نیروی الکتریسیته از رابطه ۴ حساب شده است.

$$DE = \frac{\gamma g H Q}{\varepsilon \alpha} \quad \text{رابطه ۴}$$

براساس رابطه (۴)، DE: انرژی مستقیم (گیگاژول در هکتار)، γ : شدت آب (۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب)، g : نیروی جاذبه (۹/۸ متر بر مجذور ثانیه)، H : میانگین عمق پمپاژ آب (براساس گزارش وزارت نیرو ۸۰ متر در نظر گرفته شد)، Q : نیاز خالص آبی گیاه (متر مکعب در هکتار) هستند.

برای محاسبه نیاز خالص چغندر قند از برنامه CropWat استفاده شد که بدین منظور برای هر محصول در هر سال، با وارد کردن مقدار تبخیر و تعرق و بارندگی کل کشور در برنامه یاد شده، میزان نیاز آبی خالص محاسبه شد. $\varepsilon \alpha$: کارایی کلی آبیاری است که مقدار آن معادل ۰/۴۵ در نظر گرفته شد. پس از محاسبه انرژی مربوط به نهاده‌های مؤثر در کل انرژی ورودی محصول، شاخص‌های کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و انرژی خالص براساس رابطه‌های ۵ تا ۷ محاسبه شد (Kordavani et al. 2018).

$$\text{Energy efficiency} = \frac{\text{Energy input}}{\text{Energy Output}} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$\text{Energy productivity} = \frac{\text{Output quantity}}{\text{Energy input}} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\text{Net energy} = \text{Energy output} - \text{Energy input} \quad \text{رابطه ۷}$$

که در این رابطه‌ها Energy efficiency نشان‌دهنده کارایی انرژی، Energy input انرژی نهاده برحسب گیگاژول بر هکتار، Energy Output انرژی ستاده برحسب گیگاژول بر هکتار، Energy productivity بهره‌وری انرژی و در نهایت Net energy انرژی خالص حاصل از تفاوت انرژی خروجی و ورودی می‌باشد.

قید بازده متغیر نسبت به مقیاس، این نکته را مشخص نمی‌کند که بنگاه در ناحیه بازده صعودی نسبت به مقیاس فعالیت می‌کند یا بازدهی نزولی. این مهم در عمل با مقایسه قید بازده غیر صعودی به مقیاس $N1 \lambda \geq 0$ صورت می‌گیرد. بنابراین کارایی فنی خالص براساس رابطه ۱ بدست می‌آید (Azizi and Jahed 2011). کارایی محاسباتی در رویکرد بهینه یا کارا، به‌عنوان بهترین کارایی نسبی یا کارایی خوش‌بینانه نامیده می‌شود. اگر بهترین کارایی نسبی یک (DMU) برابر یک باشد، گفته می‌شود که کارایی (DEA) یا کارایی خوشبینانه است. این روش در جستجوی بهترین وزن‌ها برای ستاده و نهاده‌های یک واحد است که به‌صورت رابطه ۲ بیان شده است (Farrell 1957).

$$\text{Min } \theta = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}$$

s.t

s.t

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1$$

رابطه ۲

$$u_r, v_r \geq 0$$

$$(j=1,2,3,\dots,n), (r=1,2,3,\dots,s), (i=1,2,3,\dots,m)$$

که در آن u شامل وزن‌های محصولات و v شامل وزن‌های عوامل تولید، y نشان‌دهنده محصولات و x نمایانگر نهاده‌ها می‌باشد. در صورتی که کارایی یک واحد با ماکزیمم‌سازی در محدوده کمتر یا مساوی یک محاسبه شود، واحد ناکارا یا عبارتی، کارایی بدبینانه و یا بدترین کارایی نسبی معرفی می‌شود (Azizi and Jahed 2011). در صورتی که مجموعه‌ای از وزن‌های مثبت وجود داشته باشد، سبب شود $\phi=1$ باشد، آنگاه واحد مورد نظر ناکارای بدبینانه است. در مدل (DEA) بدبینانه مجموعه‌ای از نامطلوب‌ترین وزن‌ها برای هر واحد محاسبه می‌شود. کارایی بدبینانه براساس رابطه (۳) محاسبه شده است.

$$\text{Max } \phi_{\text{IDMU}} = \sum_{r=1}^s v_r x_{ij}^{\min}$$

s.t

$$\sum u_r y_{ri} - \sum v_r x_{ij} \geq 0$$

رابطه ۳

$$u_r y_r^{\max} = 1$$

و مزرعه، مصرف انرژی و نهاده‌ها، کارایی ماشین‌آلات و تجهیزات کشاورزی، منابع آب و مصرف بهینه، بهره‌وری و عملکرد مزرعه می‌باشد. استخراج اطلاعات پایه و محاسبه کارایی با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و GAMS انجام گرفت.

نتایج و بحث

مطابق نتایج جدول ۱، میانگین تولید چغندر قند در جامعه آماری مورد بررسی دشت اسلام‌آباد سالانه ۳۰/۱۱ تن در هکتار و بیشترین میزان تولید آن ۶۸/۸۷ تن در هکتار محاسبه گردید که نشان‌دهنده‌ی عملکرد بالای آن در شهرستان قائنات است. وضعیت استفاده از بذر و کودهای شیمیایی حاکی از این است که کشاورزان این منطقه به‌طور متوسط ۳/۳۷ واحد در هکتار و ۵۴/۲ کیلوگرم در هکتار به ازاء تولید چغندر قند بذر و کود مصرف کرده‌اند.

حداقل واحدهای تصمیم‌گیری به منظور اعتماد به نتایج تحلیل پوششی داده‌ها از رابطه ۸ محاسبه شد (Kariminaderi and Esfahani 2015).

رابطه ۸
$$3(X+Y) \geq \text{تعداد واحدهای تصمیم‌گیری}$$
 که در رابطه بالا X تعداد نهاده و Y تعداد محصولات است. نهاده‌های مهم در تولید محصولات مورد بررسی شامل نیروی انسانی، انرژی مستقیم (برق، سوخت فسیلی)، کود (شیمیایی و حیوانی)، بذر، سموم و آب بوده‌اند. همچنین سطح زیرکشت به‌عنوان نهاده و میزان تولید چغندر قند در هر دوره به‌عنوان ستاده در نظر گرفته شد که با توجه به تعداد نهاده‌ها و ستاده‌ها حداقل تعداد واحدهای تصمیم‌گیری در تحلیل فراگیر داده‌ها تعداد ۲۱ واحد محاسبه گردید. به‌منظور استخراج نتایج قابل اعتمادتر تعداد ۴۸ پرسشنامه به‌صورت تصادفی از بهره‌برداران چغندر کار تکمیل گردید. اطلاعات پرسشنامه شامل مشخصات عمومی کشاورزان

جدول ۱ ویژگی‌های آماری نهاده‌ها و عملکرد چغندر قند در هکتار

Table. 1 Statistical characteristic of inputs and sugar beet yield per hectare

متغیر Variable	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Average	انحراف استاندارد Standard deviation
تولید (تن) production (tons)	28.02	68.87	30.11	17.62
سموم شیمیایی (لیتر) Chemical pesticides (liters)	0.46	10.000	2.52	2.17
کود فسفات (کیلوگرم) Phosphate fertilizer (kg)	50	160	54.2	16.7
کود ازت (کیلوگرم) Nitrogen fertilizer (kg)	100	250	139.70	45.29
بذر مصرفی (کیلوگرم) Quantity of seed used (kg)	1.5	12	3.37	1.29
نیروی کار (نفر-روز) Labor force (person-days)	3	35	21.34	6.14
سطح زیرکشت (هکتار) Cultivated area (hectares)	0.5	50	9.5	7.23
سوخت دیزل (لیتر) Diesel fuel (liter)	149.2	299.5	250.7	38.7
آب مصرفی (هزار متر مکعب) water consumption (1000m ³)	5.54	13.60	7.11	1.81

Source: Research results

مأخذ: نتایج تحقیق

در این صورت مصرف بعضی از نهاده‌ها بالاتر و بعضی پایین‌تر از میزان بهینه آن‌ها است. میانگین مصرف نهاده‌ها در حالت بهینه و غیربهینه (کارا- ناکارا) توسط کشاورزان در جدول (۲)

بیانگر این است که به‌ترتیب نهاده‌های نیروی کار و کود شیمیایی به‌صورت کارا یا بهینه و در مقابل نهاده‌های بذر مصرفی و سم به‌صورت غیر بهینه بوده است.

جدول ۲ میانگین مصرف نهاده‌ها در حالت بهینه و غیر بهینه

Table. 2 Average input consumption under optimal and non-optimal conditions			
بهینه	مصرفی (غیر بهینه)	درصد ناکارایی	نهاده‌ها
optimal	consumption (non-optimal)	Inefficiency percentage	Inputs
374	694	-46.1	کود شیمیایی (کیلوگرم در هکتار) Chemical fertilizer (kg ha-1)
4.72	13.60	-65.29	بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار) Quantity of seed used (kg ha-1)
3.32	11.5	-71.1	سم (لیتر در هکتار) Pesticide (liter ha-1)
5.40	76.10	-33.77	نیروی کار (ساعات کاری) Labor force« (working hours)

Source: Research results

مأخذ: نتایج تحقیق

در ادامه، از روش تحلیل پوششی داده‌ها و روش ستاده- نهاده‌محور کارایی هر واحد نسبت به واحدهای دیگر مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳).

تعداد ۱۱ واحد روی مرز کارایی قرار گرفتند و به‌عبارتی از کارایی لازم برخوردار بودند و به‌عبارتی به‌عنوان واحدهای مرجع در مدیریت مصرف نهاده‌ها در نظر گرفته شدند. همچنین از میان واحدهای بررسی شده ۲۳ واحد کارایی کمتر از میانگین محاسبه شد. این واحدها به‌ازاء نهاده‌های یکسان تولید کمتری نسبت به سایر واحدها دارند. پایین بودن کارایی در این واحدها در ازاء افزایش تولید با مصرف نهاده یکسان برطرف می‌گردد.

به‌عبارتی با برنامه‌ریزی صحیح از طریق بهبود کارایی فنی و با افزایش دانش فنی مدیران و مدیریت در استفاده از نهاده‌ها برای رسیدن به بیشترین میزان محصول، کارایی را تا رسیدن به مرز کارایی تولید ارتقا داد. مطابق نتایج مطالعات ارتقاء کارایی، در مصرف نهاده‌ها رویکردی مناسب برای کاهش اثرات زیست‌محیطی همگام با بهبود عملکرد اقتصادی در هکتار توصیه شده است.

در جدول (۳) کارایی کشاورزان در حالت ستاده- نهاده‌محور نشان داده شد. متوسط کارایی نهاده‌محور برابر ۰/۷۰ محاسبه شد. به‌عبارتی، تولید ۰/۷۰ چغندر قند با مصرف یک واحد نهاده صورت گرفته است. هر چه مقدار متوسط نهاده‌محور بیشتر باشد بیانگر تولید بیشتر محصول در قبال مصرف بهینه و معین نهاده خواهد بود. همچنین نشان‌دهنده‌ی کارایی کشاورزان در مدیریت مطلوب و صحیح مصرف منابع و نهاده‌های شیمیایی بوده است که براساس نتایج محاسباتی، بر خلاف واقعیت برآورد شده است. بنابراین افزایش تولید با مصرف بهینه نهاده صورت نگرفته است. همچنین شکاف میان بهترین تولیدکننده (کشاورز) و سایر تولیدکنندگان در مصرف نهاده‌ها ۳۰ درصد برآورد شد. به‌عبارتی تنها ۲۲ درصد کشاورزان در مقایسه با سایر کشاورزان مورد مطالعه عملکرد تکنیکی بهتری داشته‌اند لذا بایستی زمینه‌ای برای ارتباط چغندرکاران موفق برای انتقال تجربیات و روش‌های مورد استفاده آنان به سایر چغندرکاران یا کشاورزان فراهم شود.

جدول ۳ کارایی کشاورزان در حالت نهاده محور و ستاده محور

Table. 3 Growers' efficiency under input-oriented and output-oriented models

شماره واحد	ستاده محور	نهاده محور	شماره واحد	ستاده محور	نهاده محور
Unit number	Output oriented	Input oriented	Unit number	Output oriented	Input oriented
1	1.07	0.93	26	2.21	0.45
2	1	1	27	1.60	0.62
3	1.13	0.88	28	1.16	0.86
4	1.21	0.82	29	1	1
5	1.8	0.55	30	1.22	0.81
6	1.45	0.68	31	1	1
7	3.75	0.26	32	4.68	0.21
8	1	1	33	1	1
9	1.90	0.52	34	1.60	0.62
10	3.72	0.26	35	1.12	0.88
11	3.83	0.26	36	1	1
12	2.60	0.38	37	1.02	0.97
13	2.04	0.49	38	1	1
14	1.15	0.86	39	1.13	0.87
15	1	1	40	3.19	0.31
16	1.40	0.71	41	1	1
17	1.86	0.53	42	5.35	0.18
18	1.65	0.60	43	1.87	0.53
19	1.66	0.60	44	1.71	0.58
20	1.68	0.59	45	1	1
21	1.26	0.79	46	1	1
22	2.9	0.34	47	1.44	0.69
23	1.6	0.61	48	1.04	0.95
24	2.164	0.46			
25	1.15	0.86			
میانگین				1.76	0.70
Average					

Source: Research results

مأخذ: نتایج تحقیق

در ادامه کارایی کشاورزان براساس دو رویکرد بهینه-غیر بهینه محاسبه و نتایج آن در جدول ۴ گزارش شده است. براساس نتایج جدول (۴)، متوسط بهینه کارایی کشاورزان برابر ۰/۴۲ محاسبه شد. به طور متوسط ۴۲ درصد کشاورزان هر چند در حالت نهاده محور و بدبینانه روی مرز ناکارا قرار ندارند اما از دیدگاه خوشبینانه به صورت کارا عمل نمی کنند.

همچنین متوسط کارایی ستاده محور ۱/۷۶ برای تولید یک واحد چغندر قند محاسبه شد. میانگین کارایی در حالت نهاده محور برابر ۱/۷۶ است یا به عبارت دیگر برای به دست آوردن یک واحد محصول، جمع وزنی نهاده های مصرف شده برابر ۱/۷۶ است. قابل ذکر است که هر چه این مقدار کوچک تر باشد، کارایی واحد بهتر خواهد بود و به معنی مصرف نهاده کمتر برای به دست آوردن مقدار معینی محصول است.

جدول ۴ مقایسه کارایی کشاورزان در مصرف نهاده‌ها براساس رویکرد بهینه-غیر بهینه

Table. 4 Comparison of growers' efficiency in input usage based on optimal versus non-optimal approaches

شماره واحد Unit number	کارایی بهینه Optimal efficiency	کارایی غیر بهینه Non-optimal efficiency	شماره واحد Unit number	کارایی بهینه Optimal efficiency	کارایی غیر بهینه Non-optimal efficiency
1	1.07	0.28	26	2.21	0.47
2	1	0.32	27	1.60	0.48
3	1.13	0.27	28	1.16	0.33
4	1.21	0.37	29	1	0.31
5	1.8	0.44	30	1.22	0.32
6	1.45	0.37	31	1	0.24
7	3.75	1	32	4.68	1
8	1	0.28	33	1	0.21
9	1.90	0.50	34	1.60	0.36
10	3.72	0.99	35	1.12	0.28
11	3.83	1	36	1	0.13
12	2.60	0.72	37	1.02	0.18
13	2.04	0.51	38	1	0.10
14	1.15	0.30	39	1.13	0.20
15	1	0.22	40	3.19	0.71
16	1.40	0.41	41	1	0.30
17	1.86	0.45	42	5.35	1
18	1.65	0.43	43	1.87	0.31
19	1.66	0.40	44	1.71	0.39
20	1.68	0.46	45	1	0.24
21	1.26	0.37	46	1	0.16
22	2.9	0.62	47	1.44	0.31
23	1.6	0.35	48	1.04	0.36
24	2.164	0.53			
25	1.15	0.33			
میانگین Average				1.76	0.42

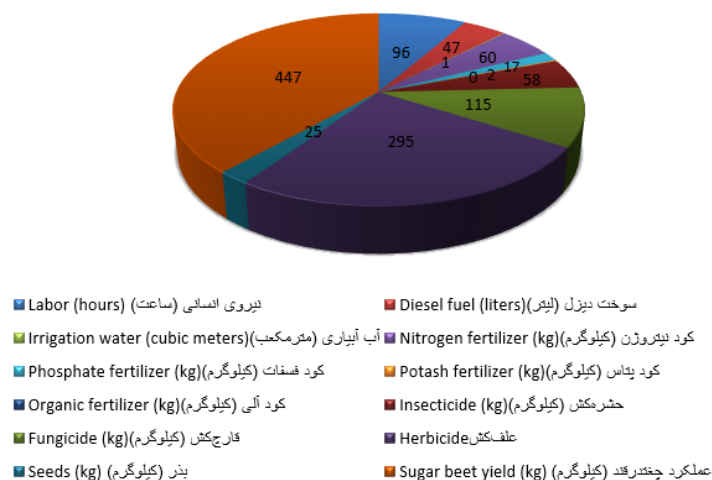
Source: Research results

مأخذ: نتایج تحقیق

ادامه و در اثر مصرف زیاد، به عنوان نهاده‌های زیان‌بار تلقی می‌شوند. پس از تعیین کارایی کشاورزان، انرژی ورودی برای تولید محصول از طریق معادل انرژی نیروی کار، الکتریسیته، سوخت دیزل، بذر، آب، کود و سموم شیمیایی و به منظور محاسبه انرژی خروجی، میانگین عملکرد هر محصول در هر سال با توجه به معادل انرژی آن‌ها محاسبه شده است. میانگین انرژی استفاده شده در محصولات با توجه به بررسی منابع و استاندارد ASAE از مطالعه استخراج شده است (Kitani 1999). میانگین نهاده‌ها و ستانده‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است (۲۰).

شایان ذکر است، ۸/۳ درصد کشاورزان در مصرف نهاده‌ها به صورت بهینه و کارا عمل نکرده‌اند. به عبارتی برای به دست آوردن یک واحد محصول (چغندر قند) حداکثر نهاده مصرفی به کار گرفته شده است.

مصرف سموم و کودهای شیمیایی هرچند باعث افزایش عملکرد در واحد سطح محصولات شده است اما آسیب‌ها و زیان‌های جدی و جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی و محیط‌زیست وارد ساخته است. در مقابل نهاده‌های اساسی که به عنوان نهاده مطلوب و پایه در فرآیند تولید از آن استفاده شده و افزایش عملکرد را به دنبال داشته است، در



شکل ۲ میانگین نهاده‌های مصرفی در تولید چغندر قند. مأخذ: نتایج تحقیق.

Fig. 2 Average inputs used in sugar beet production. Source: Research results.

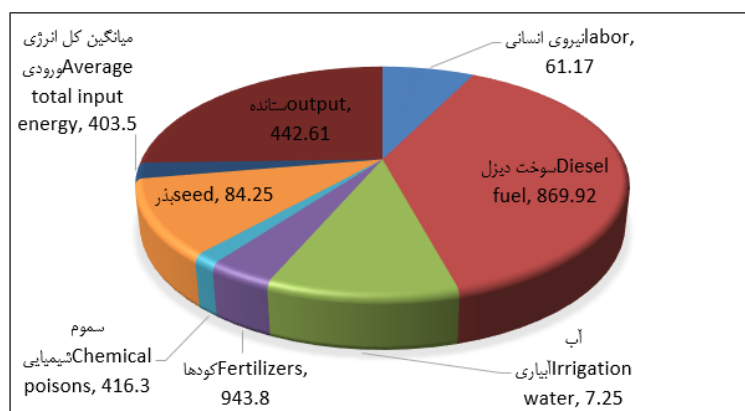
از جمله نهاده‌های شیمیایی قابل مصرف در بخش کشاورزی، انواع سموم (قارچ‌کش، حشره‌کش، آفت‌کش و علف‌کش) و کودهای شیمیایی (نیتروژن، پتاس و فسفر) هستند. کودهای شیمیایی به دلیل مصرف انرژی بالا در زمان تولید و فرآوری آنها، یکی از نهاده‌های اثرگذار بر کارایی انرژی سیستم‌های کشاورزی هستند. از جمله اجزاء انرژی کل ورودی، انرژی بذر می‌باشد که به گونه غیرمستقیم در مزارع به کار برده شده است. برای محاسبه انرژی بذر، می‌بایست میانگین بذر مصرفی در یک هکتار از محصول زراعی را در معادل انرژی هر کیلوگرم بذر (مقدار انرژی موجود در بذر از طریق تجزیه زیستی آزاد می‌شود. به عبارتی همان بهره‌وری انرژی بذر است) ضرب نموده و انرژی ورودی به ازاء مصرف هر کیلو بذر محاسبه شده است.

یکی دیگر از اجزاء انرژی ورودی، انرژی الکتریسیته بود که در تولید محصولات زراعی سهمی ویژه از انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است. بیشترین انرژی مصرفی در تولید چغندر قند را کودهای شیمیایی، سوخت دیزل و سموم شیمیایی به خود اختصاص داده است. اثر افزایش انرژی کود شیمیایی نسبت به سایر نهاده‌ها به دلیل تأثیر مثبت آن بر میزان عملکرد در واحد سطح بوده است که یکی از مهمترین دلایل افزایش مصرف کل انرژی ورودی در طول دوره مورد بررسی بوده است. انرژی ستاده یا تولید چغندر قند برابر $442/61$ گیگاژول در هکتار محاسبه شد که نسبت به میانگین کل انرژی مصرفی بیشتر بوده است. بررسی سهم نهاده‌های مصرفی در میزان انرژی برای یک هکتار از

نیروی انسانی که به طور مستقیم در نظام‌های زراعی صرف می‌شود جزء منابع اکولوژیک می‌باشد. نیروی کار انسانی در بوم-نظام‌های کشاورزی شامل تمام مدت زمان کار در طول دوره کاشت، داشت، برداشت و فرآوری محصولات کشاورزی است که صرف مدیریت و تولید این محصول می‌شود. انرژی معادل مرتبط با نیروی کارگری به گونه شایانی به رهیافت انتخابی وابسته است و باید با شرایط واقعی زندگی در منطقه مورد مطالعه منطبق باشد. برای محاسبه معادل نیروی کارگری در ایران، از ضریب انرژی نیروی کارگری کشورهای که شرایط نیروی کارگری در آنها مشابه ایران است - به عنوان مثال افغانستان و پاکستان که در همسایگی ایران قرار دارند- استفاده شده است. روش تبدیل آن به این صورت است که ابتدا داده‌ها از واحد روز در هکتار به واحد ساعت در هکتار تبدیل شدند (معادل هر روز کار برابر ۸ ساعت در نظر گرفته شد). سپس با توجه به ارزش هر ساعت کار نیروی انسانی براساس منابع موجود که به طور میانگین $1/96$ مگاژول بر ساعت می‌باشد، میزان انرژی نیروی انسانی برای محصول بدست آمد (شکل ۲). همچنین نیروی حیوانی به دلیل داشتن سهم ناچیز در کل انرژی ورودی حذف شد. سوخت‌های فسیلی جزء منابع انرژی تجدیدناپذیر هستند و در تمام مراحل کاشت، داشت و برداشت به وسیله ماشین‌آلات و تجهیزات دیگر مصرف می‌شوند. نهاده‌های شیمیایی، جزء انرژی برترین نهاده‌ها به شمار می‌رود. این نهاده‌ها جزء منابع انرژی زراعی صنعتی بوده که به گونه غیرمستقیم در مزارع استفاده می‌شود.

درصد می‌باشد. در مجموع میانگین کل انرژی ورودی ۱۲ درصد و میزان ستاده ۱۳ درصد می‌باشد.

مزرعه چغندر نشان داد بیشترین سهم مربوط به انواع کودها ۲۸ درصد، سوخت دیزل با میزان ۲۶ درصد و سموم شیمیایی ۱۲

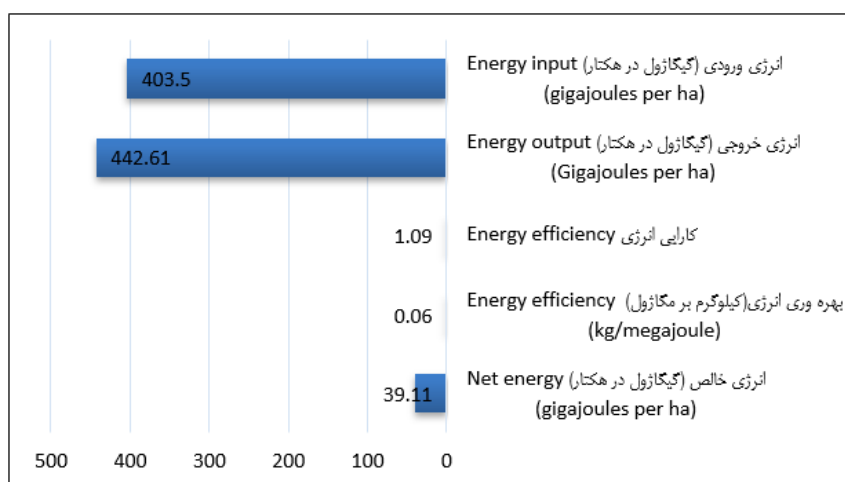


شکل ۳ میانگین کل انرژی نهاده‌های مصرفی (برحسب مگاژول). مأخذ: نتایج تحقیق.

Fig. 3 Average total energy of inputs used (in Meajoules). Source: Research results.

انرژی برای چغندر ۱/۰۹ و بهره‌وری انرژی بیانگر، ۰/۰۶ کیلوگرم چغندر به ازاء هر واحد انرژی نهاده‌ها تولید شده است.

انرژی‌های ورودی برای تولید چغندر ۴۰۳/۵ گیگاژول در هکتار، از متوسط نیروی انسانی، سوخت دیزل، آب آبیاری، کودها، سموم شیمیایی، بذر مصرفی محاسبه شد. ضریب نسبت



شکل ۴ میانگین کل شاخص‌های انرژی در تولید چغندر. مأخذ: نتایج تحقیق.

Fig. 4 Average total energy indices in sugar beet production. Source: Research results.

در سال ۹۹-۱۳۹۸ برابر ۹۴۶/۰۸ گیگاژول در هکتار برآورد شده است. شایان ذکر است عمده مصرف سوخت در اراضی چغندر متعلق به نیروهای محرکه (انواع تراکتورها) و ماشین‌های خودگردان (کمباین و...) بوده است. به دلیل اینکه چغندر مستلزم مصرف آب زیادی است بنابراین نیاز به انرژی بیشتری در جهت پمپاژ کردن آب برای تولید این محصول است و مصرف سوخت زیادی را نیز می‌طلبد. همانطور که در شکل (۳) ملاحظه

نتایج استخراج شده در زمینه کارایی انرژی (شکل ۴) نشان‌دهنده این است که مدیریت سیستم‌های زراعی از طریق مصرف بهینه کودهای شیمیایی، وارد کردن ارقام با کارایی جذب بالای عناصر غذایی و تناوب کشت، به‌خوبی می‌تواند باعث کاهش مصرف کود شیمیایی در مزارع شود. همچنین سوخت مصرفی (دیزل) پس از کود بیشترین سهم از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است. به‌گونه‌ای که میانگین این نهاده

محاسبه شد که نشان دهنده‌ی این است که نهاده انرژی دیرتر از ستاده انرژی افزایش یافته است و در پی آن کارایی مصرف انرژی افزایش یافته است. با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق، پیشنهادهای زیر ارائه شده است:

- نتایج مطالعه نشان داد که تولید ۴۲ درصد واحدهای مورد مطالعه کارا نیستند و میانگین کارایی واحدها نیز در دو حالت ستاده‌محور برابر ۱/۷۶ و نهاده‌محور ۰/۷۰ بیانگر این است که می‌توان بدون افزایش نهاده مقدار محصول را افزایش داد و یا از طرف دیگر مقدار محصول را با مقدار کمتری نهاده بدست آورد لذا می‌توان با افزایش کارایی واحدهای ناکارا عملکرد و سودآوری این گروه را در شهرستان افزایش داد. بنابراین با شناسایی واحدهای کارا و نمونه قرار دادن این واحدها و همچنین شناسایی واحدهای ناکارا و توجه ویژه به این واحدها و بررسی علل پایین بودن کارایی این واحدها به صورت میدانی می‌توان گام مؤثری در جهت ارتقاء کارایی این واحدها برداشت.

- میانگین کارایی انرژی در مطالعه حاضر ۱/۰۹ گیگاژول در هکتار محاسبه گردید. به علت اینکه کارایی انرژی مهمترین عامل در سیاست‌گذاری در کشورها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و وابستگی به سوخت‌های فسیلی است، این امر نشان دهنده‌ی وابستگی روز افزون نظام‌های زراعی کشور به منابع تجدیدناپذیر است.

- بهره‌وری انرژی در چغندر قند ۰/۰۶ گیگاژول در هکتار محاسبه شد. به طور کلی مدیریت مصرف انرژی در مزارع چغندر قند یک روش مناسب جهت افزایش کارایی و افزایش بهره‌وری در تولید این محصول است. لذا با توجه به اینکه از بین انواع انرژی‌های مصرفی سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر بسیار زیاد است و این مسأله باعث افزایش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و تشدید گرمایش جهانی شده است. تلاش برای مدیریت مصرف انرژی و کاهش سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر و افزایش میزان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بایستی مورد تأکید قرار گیرد.

گردید میانگین کارایی انرژی برابر ۱/۰۹ محاسبه شد که نشان دهنده‌ی افزایش انرژی ستاده (به دلیل رشد بیش‌تر عملکرد در واحد سطح) نسبت به انرژی ورودی بوده است که این نتایج مطابق با مطالعه دیگری (Kordavani et al. 2018) برای محصولات زراعی ایران اثبات شده است. همچنین میزان انرژی ورودی برابر ۴۰۳/۵ گیگاژول در هکتار است که نشان دهنده‌ی افزایش مصرف نهاده‌های ورودی در هر هکتار چغندر قند است. میزان انرژی خروجی یا ستاده نیز برابر ۴۴۲/۶۱ گیگاژول در هکتار است. کارایی مصرف انرژی در مزرعه چغندر قند حدود ۰/۰۶ است که نشان دهنده‌ی بالاتر بودن نسبی عملکرد و از طرفی پایین‌تر بودن انرژی مصرفی در مزارع چغندر قند است.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت اقتصادی چغندر قند و نقش آن در تولید شکر داخلی، بررسی کارایی این محصول می‌تواند نقش به‌سزایی در راستای افزایش تولید آن داشته باشد. از این رو پژوهش حاضر با نگاهی متفاوت از سایر پژوهش‌ها، در راستای تعیین شاخص کارایی کشاورزان و محاسبه بهره‌وری و انرژی خالص مصرفی ناشی از تولید این محصول در شهرستان قائنات انجام شد. اطلاعات مورد نیاز برای این مهم از طریق تکمیل ۴۸ پرسشنامه از میان چغندرکاران نمونه شهرستان در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸ جمع‌آوری شد. نتایج محاسبه کارایی در حالت بهینه و غیربهینه نشان داد، ۸/۳ درصد کشاورزان در مصرف نهاده‌ها به صورت بهینه و کارا عمل نکرده‌اند. به عبارتی برای بدست آوردن یک واحد محصول (چغندر قند) حداکثر نهاده مصرفی ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار به کار گرفته شده است. همچنین نتایج محاسبه انرژی‌های ورودی در تولید چغندر قند نشان داد که انرژی ورودی برای تولید چغندر قند معادل ۴۰۳/۵ گیگاژول در هکتار است که از متوسط نیروی انسانی، سوخت دیزل، آب آبیاری، کودها، سموم شیمیایی، بذر مصرفی محاسبه شد. ضریب نسبت انرژی برای چغندر قند ۱/۰۹ و بهره‌وری انرژی بیانگر، ۰/۰۶ کیلوگرم چغندر قند به ازاء هر واحد انرژی نهاده‌ها تولید شده است. شایان ذکر است که محاسبه کارایی انرژی برای چغندر قند برابر ۱/۰۹

آبیاری کارآمد به منظور صرفه جویی در نیروی الکتریسیته و کاهش مصرف آب به عنوان یک از مهم ترین راهکارها در تقلیل مصرف منابع تجدیدناپذیر و افزایش کارایی انرژی در تولید چغندر قند پیشنهاد می شود.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

سپاسگذاری

نویسندگان مقاله از حمایت مالی معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه زابل براساس پژوهانه UOZ..AC.IR-GR-6707 تشکر و قدردانی دارند.

- در راستای دستیابی به افزایش کارایی و بهره‌وری و کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مؤثرترین راه برای کاهش میزان انرژی ورودی در سیستم چغندر قند است که در این مطالعه انرژی ورودی برابر $403/5$ گیگاژول در هکتار است و در نتیجه جهت کاهش میزان انرژی ورودی بایستی به ترتیب کاهش مصرف کود نیتروژن، دیزل و الکتریسیته نیز صورت گیرد. تأکید بر استفاده از کودهای آلی می‌تواند سهم قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی در این بخش ایفا کند. همچنین به منظور کاهش مصرف سوخت استفاده از ادوات مرکب و استفاده از سیستم‌های حفاظتی توصیه می‌گردد. در نهایت انجام مدیریت صحیح آبیاری و استفاده از روش‌های نوین و تحت فشار آبیاری جهت کاهش مصرف آبیاری و استفاده از پمپ‌های آب با کارایی بالا و متناسب با عمق چاه‌های آب می‌تواند نقش مؤثری در کاهش مصرف الکتریسیته و رسیدن به اهداف فوق برجای گذارد.
- همچنین استفاده از منابع تجدیدشونده برای کاهش مقدار استفاده از انرژی‌های صنعتی و استفاده از سیستم‌های

Reference

منابع مورد استفاده

- Areal FJ, Pede VO. Modeling spatial interaction in stochastic frontier analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021; 5. Doi:<https://doi.org/10.3389/673039>.
- Amini M, Fatahiardakani A, Bostan Y, Neshat A. The effect of guaranteed purchase policy of wheat crop on the economic value of groundwater resources (Case study: Malayer city). 8th National Conference on Water Resources Management of Iran, Ferdowsi University of Mashhad. 2021; PP. 1171-96 (In Persian with English abstract).
- Anonymous, Agricultural Jihad Organization South Khorasan, Qayenat county, Statistics and Information Department. 2017; <https://kj-agriahad.ir/ghaen>.
- Ahani E, Mohammadi H, Esfahany SM. Determining the efficiency of farmers by emphasizing the correct management of chemical inputs consumption and environmental effects (case study: beet growers of Qain city), *Journal of Environmental Science and Technology*. 2023; 10(25): 89-107. (In Persian with English abstract).
- Adom PK, Amakye K, Abrokwa KK, Quaidoo C. Estimate of transient and persistent energy efficiency in Africa: A stochastic frontier approach. *Energy Conversion and Management*. 2018; 166: 556-568. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.e.2018.04.038>.
- Azizi H, Jahed R. Improved data envelopment analysis models for evaluating interval efficiencies of decision-making units. *Computers and Industrial Engineering*. 2011; 61(3), 897-901. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.04.017>. (In Persian with English abstract).
- Babaeian M, Tavassoli A, Hosein salehi M. Quantification energy use pattern and greenhouse gas emissions in cultivation of sugar beet (Case study: Village farms of Hossein abad of Shirvan city). *Rural Development Strategies*, 2021, 2(8):201-212. (In Persian with English abstract).
- Ebrahimipak NA, Mostashari M. Evaluation of irrigation water management and boron fertilizer to increase water use efficiency of sugar beet. *Water and Irrigation Management*. 2012; 2(2): 53-67. Doi:<https://doi.org/10.22059/JWIM.2013.30340>. (In Persian with English abstract).
- Farrell MJ. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*. 1957; 120(3), 253-290. Doi:<https://doi.org/10.2307/2343100>
- Fulai Y, Xiaoqiang L, Wenqiang B, Junliang F, Fucang Z, Youzhen X, Xianghao H, Shengzhao P, Yulong D, Hualiang Z. Multi- objective optimization of water and nitrogen regimes for drip-fertigated sugar beet in a desert climate, Volume 288, 1 November 2022, 108703. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108703>.
- Kordavani F, Jamialahmadi M, Bakhshi MR. Econometric analysis of energy use in cereal production of Iran (Case study: wheat, barley, corn, rice), *Journal of Agricultural Economics Research*, 2018; 10 (1): 133-148. Doi:<https://doi.org/20.1001.1.20086407.1397.10.37.7.7>(In Persian with English abstract).
- Kariminaderi Mahdi K, Esfahani SMJ. Efficiency of saffrons in shahik Qaen region (Application of Data Envelopment analysis using efficient and inefficient borders). *Journal of Saffron Agronomy and Technology*. 2015; 3 (3): 240-229. Doi:<https://doi.org/10.22048/jsat.2015.10389> (In Persian with English abstract).
- Kitani O. CIGR handbook of agricultural engineering. Energy and biomass engineering. 1999; PP. 330. Doi: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19992401754>
- Najafi F, Sani M, Nazari M, Neshat A. Efficiency estimation and ranking of Iranian sugar beet producers. *Agricultural Economics and Development*. 2020b; 28(3): 125-145. Doi:<https://doi.org/10.30490/AEAD.2020.252671.0> (In Persian with English abstract)
- Ohadi N, Ahani A, Moradi A. Determination of technical efficiency in dairy farms of Sirjan city using fuzzy data envelopment analysis method, *Journal of Agricultural Economics Research*. 2020; 12 (47):237-252. Doi:<https://doi.org/20.1001.1.20086407.1399.12.47.10.4> (In Persian with English abstract)
- Titus MA, Vamosiu A, Buenaflor SH, Lukszo CM. Persistent cost efficiency at public community colleges in the US: a stochastic frontier analysis. *Research in Higher Education*. 2021; 62(8): 1168-1197.
- Van Nguyen Q, Pascoe S, Coglán L, Nghiem S. The sensitivity of efficiency scores to input and other choices in stochastic frontier analysis: an empirical investigation. *Journal of Productivity Analysis*. 2021; 55(1):

31-40. Doi <https://doi.org/10.1007/s11123-020-00592-8>

Wang YM, Yang JB. Measuring the performances of decision-making units using interval efficiencies. Computational and Applied Mathematics. 2007; 198: 253-267.

Ying W, Pishgar-Komleh SH, Ghahderijani M, Sefeedpari P. Energy consumption and CO2 emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. Journal of Cleaner production. 2012; 33: 183-191. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.008>.

Zahedi M, Eshghe zadeh HR, Madani F. Energy efficiency and productivity in potato and sugar beet production systems in Isfahan province. Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products. 2015. 7(5):180-192. (In Persian with English abstract). Doi:<https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.17.181>.