Karafan

Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University

Spring 2023, Vol. 20, No. 1, p. 131-150

Journal Homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

TVU

doi:10.48301/KSSA.2023.388258.2471

Evaluation and Optimization of Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions of Sugar Beet Production with the Method of Data Envelopment Analysis

Ghorban Soleymani[1], Reza Abdi[2], Mani Ghanbari[3], Rasoul Loghmanpour Zarin[4*]

[1]M.Sc. Student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Tabriz University, Tabriz, Iran.
[2]Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Tabriz University, Tabriz, Iran.
[3],[4]Faculty Member, Department of Agricultural Engineering, Technical and Vocational University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received: 03.09.2023
Revised: 04.18.2023
Accepted: 05.23.2023

Keyword:
Energy Consumption
Greenhouse Gas Emissions
Sugar Beet
Data Envelopment Analysis

***Corresponding Author:**
Rasoul Loghmanpour Zarin
Email: *r-loghmanpour@tvu.ac.ir*

ABSTRACT

Most of the profits from the production of agricultural products are spent on energy costs of inputs (including machinery, irrigation, and fertilizers). In the present research, energy consumption analysis, emission of greenhouse gases and their optimization from Data Envelopment Analysis (DEA) methods in sugar beet production from the dominant products of Naghadeh city in Azerbaijan Gharbi Province were investigated. Furthermore, efficient and inefficient units were identified. The results showed that the total energy input in the production of sugar beet products was 37548.371 Mj/ha. The highest consumption of inputs in sugar beet was fuel input with 38.81% and chemical fertilizers with 33.49%. Additionally, the emission of greenhouse gases in the production of sugar beet products was calculated to be 1319 kg/ha. Fuel was the most widely used input at 54% in sugar beet. Energy efficiency was also equal to 1.83. The results of the optimization of energy consumption and emission of pollution using data envelopment analysis showed that 4.69% of the total energy of sugar beet in Naghadeh city can be stored. Moreover, envelopment analysis of the data reduced the greenhouse gases of sugar beet by 246.25 kg of carbon dioxide per hectare. Chemical fertilizers had the greatest share of energy storage with 26% and fuel input had the highest share in reducing greenhouse gas emissions with 41%.

©2023 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Sugar beet is one of the most important agricultural products with high nutritional value in the world, and West Azarbaijan province is considered one of the agricultural poles in Iran, ranking first nationally in the production of agricultural products such as beet, pumpkin, and wheat; and on this basis, this province was recognized as suitable area for conducting the study. The area under sugar beet cultivation in Naqhadeh city is 4500 hectares and the average annual production for sugar beet is 300 thousand tons and 1620 tons for pumpkin. One of the optimization methods widely used to achieve the high goals of the systems is Data Envelopment Analysis (DEA). The review of related sources showed that despite the wide range of research in the field of energy consumption and emission of greenhouse gases in Iran's agricultural products, none have investigated energy and its optimization and emission of greenhouse gases, resultant environmental consequences and optimization of emission. The related pollutants in the sugar beet product have not been discussed. Therefore, the main goal of this study was to optimize energy consumption and reduce greenhouse effects in the production of sugar beet using the data overlay analysis method in West Azarbaijan Province (Naghadeh city).

Methodology

This study was carried out with the aim of modeling and optimizing the energy consumption and the number of emissions (greenhouse gas emissions) in the dominant cultivation of Naqhadeh city located in West Azarbaijan province in the crop year 2021-2022. The sample size of the sugar beet product was 53, but in order for the samples to express the characteristics of the society more effectively and more reliably, 60 questionnaires were considered. In this research, the energy and greenhouse gas emissions indicators for the sugar beet product in the study area were calculated and the efficient and inefficient units in terms of energy consumption and the amount of emission of pollution were determined with the help of data coverage analysis, using the original version. Frontier Analyst 4 software was optimized with data coverage analysis; the advantages of this software include correct and standard answers compared to other non-original software and ranking of efficient units. In addition, the contribution of each input in saving energy and reducing greenhouse gas emissions was investigated.

Results and discussion

The results showed that the average energy consumption for one hectare of sugar beet was 37548.49 megajoules and the amount of energy obtained was equal to 265908 megajoules per hectare. The results of average comparisons showed that there was a significant difference between different levels of farms in terms of total input energy, and in terms of the difference between output energy; in other words, performance for different levels of farms was significant. The largest cultivated area of the farms in this area was between one and three hectares. The performance of medium lands with an average output energy of 155590.4 megajoules per hectare was much greater than the rest of the lands.

Fuel input accounted for the largest amount of energy consumption with 38.81%. In this region, nitrogen was increasingly used compared to other fertilizers, which is the next energy consumption in sugar beet after fuel with 33.49%. After the inputs of chemical fertilizers and fuel, animal manure (9.62%), machines (9.06%) and electricity (4.75%) were among the energy-consuming inputs in sugar beet production, respectively. In addition, with 0.26%, poisons played the least role in total energy consumption. The results showed that the total emission of greenhouse gases was 1319 kg of carbon dioxide per hectare. In addition, the difference between medium farms and other farms was significant in terms of emission rates. Medium lands had the highest amounts of emissions compared to other farms due to the larger area under cultivation and the high level of mechanized operations and the use of more machines and fuel. While small plots in beet fields had the lowest amount of emissions among the three grouped levels. Based on this, fuel was the most emitting input with 54.16%, followed by cars and nitrogen with 18.31% and 16.14%, respectively, having the highest share in the total amount of greenhouse gas emissions. The total amount of energy required in the state of optimal consumption of inputs was equal to 36065.53 megajoules per hectare, and poisons, electricity and animal manure had the highest percentage of reserves with 20.80, 19.8 and 10.37, respectively, compared to the usual state of consumption in farms. Moreover, 69.4% of the total input energy in sugar beet cultivation in the study area could be saved without reducing yield.

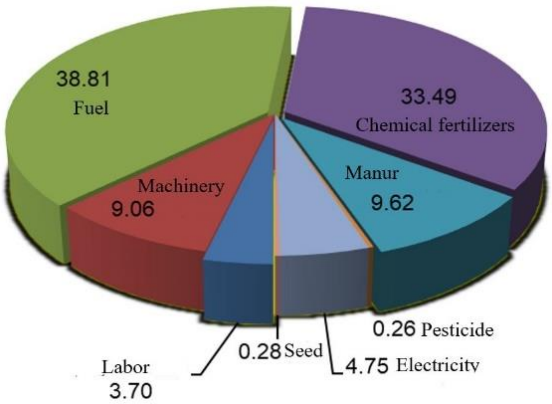


Figure 1. The share of different inputs from the total input energy in sugar beet production (percentage).

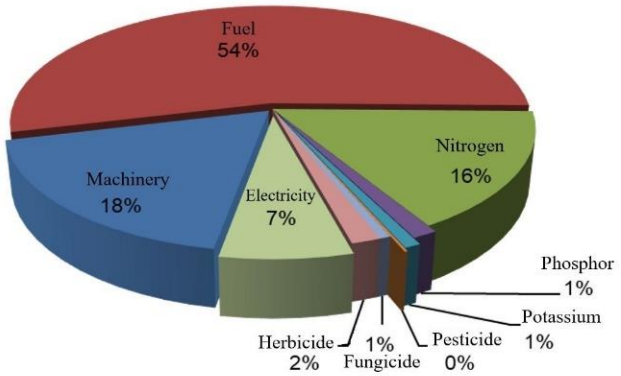


Figure 2. The share of different inputs from the total emission of greenhouse gases for sugar beet production.

Conclusion

The results of optimization of energy consumption and emission of pollution using the data coverage analysis showed that there is a great potential for saving energy consumption and emission of greenhouse gases in the region. Without this energy saving and emission of greenhouse gases, there will be a decrease in the yield of farmers in this region. Based on this, 69.4% of the total energy of sugar beet in Naqhadeh can be stored. In addition, the data overlay analysis reduced greenhouse gases for the sugar beet product by 246.25 kg of carbon dioxide per hectare of greenhouse gases. Chemical fertilizers had the largest share of energy storage with 26% and fuel input had the highest share in reducing greenhouse gas emissions with 41%. Therefore, it is recommended to carry out applied research on determining the amount of plant needs for different elements based on the fact that chemical fertilizers have a significant share of the energy consumed in sugar beet production. With this, it is possible to save energy and increase energy efficiency. It also prevents the indiscriminate and unprincipled use of chemical fertilizers that have harmful effects on the environment. The production and use of quality fuel or the use of alternative fuels, which should be given special attention at the national level, is another way to increase energy efficiency and reduce greenhouse gas emissions.

کارفن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
بهار ۱۴۰۲، دوره ۲۰، شماره ۱، ۱۵۰-۱۳۱
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2023.388258.2471

ارزیابی و بهینه‌سازی مصرف انرژی و نشر گازهای گلخانه‌ای تولید چغندرقند با روش تحلیل پوششی داده‌ها

قربان سلیمانی[۱]، رضا عبدی[۲]، مانی قنبری[۳]، رسول لقمانپور زرینی[۴*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- هیات علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳ و ۴- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲

کلید واژگان:
انرژی مصرفی
انتشار گازهای گلخانه‌ای
چغندرقند
تحلیل پوششی داده‌ها

***نویسنده مسئول:** رسول لقمانپور زرینی
پست الکترونیکی:
r-loghmanpour@tvu.ac.ir

چکیده

بخش عمدهٔ سود حاصل از تولید محصولات کشاورزی صرف هزینه‌های انرژی مصرفی نهاده‌ها (شامل ماشین‌آلات، آبیاری، کود و ...) می‌شود. در این تحقیق تحلیل انرژی مصرفی، نشر گازهای گلخانه‌ای و بهینه سازی آنها از روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) در تولید محصول چغندرقند از تولیدات غالب شهرستان نقده در استان آذربایجان غربی بررسی شد. در این تحقیق واحدهای کارا و ناکارا مشخص شدند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که میزان کل انرژی نهاده در تولید محصولات چغندرقند ۳۷۵۴۸/۴۱ مگاژول بر هکتار می‌باشد. بیشترین میزان مصرف نهاده‌ها در چغندرقند، نهاده سوخت با ۳۸/۸۱ ٪ و کودهای شیمیایی با ۳۳/۴۹ ٪ است. همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات چغندرقند ۱۳۱۹ کیلوگرم بر هکتار محاسبه شد. سوخت پر نشرترین نهاده به میزان ۵۴٪ در چغندرقند را به خود اختصاص داد. بهره‌وری انرژی نیز برابر ۱/۸۳ به‌دست آمد. نتایج بهینه‌سازی مصرف انرژی و نشر آلایندگی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد که ۴/۶۹ ٪ انرژی کل چغندرقند در شهرستان نقده قابلیت ذخیره شدن را دارند. همچنین تحلیل پوششی داده‌ها باعث کاهش گازهای گلخانه‌ای محصول چغندرقند به میزان ۲۴۶/۲۵ کیلوگرم کربن دی‌اکسید بر هکتار شد. کود شیمیایی بیشترین سهم از ذخیره‌سازی انرژی را با ۲۶ ٪ و نهاده سوخت با ۴۱ ٪ بالاترین سهم در کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند.

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

©2023 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

چغندرقند یکی از محصولات مهم کشاورزی با ارزش غذایی بالا در جهان است و استان آذربایجان غربی از قطب‌های کشاورزی در کشور ایران محسوب می‌شود که رتبهٔ اول کشوری در تولید محصولات زراعی از قبیل (چغندرقند، کدو، گندم و...) را به خود اختصاص داده که بر همین اساس این استان مناسب انجام مطالعه تشخیص داده شد. سطح زیرکشت چغندرقند در شهرستان نقده ۴۵۰۰ هکتار و میزان تولید متوسط سالانه برای چغندرقند ۳۰۰ هزار تن و برای کدو ۱۶۲۰ تن گزارش شده است. در کشاورزی نوین، بین عملکرد محصولات کشاورزی و نهاده‌های مصرفی نظیر کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی و بذور اصلاح شده همبستگی فراوانی ایجاد گردیده که نتیجهٔ آن، تغییرات چشمگیر در افزایش الگوی مصرف انرژی و متعاقباً کاهش منابع تجدیدناپذیر بوده است [۱]. از سوی دیگر، افزایش مصرف نهاده‌های انرژی در تولیدات کشاورزی، منجر به مشکلات متعدد زیست محیطی همچون کاهش تنوع زیستی و آلودگی زیستگاه‌های آبی شده است [۲; ۳]. در این بین، سهم کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) حدود ۱۲ درصد از کل انتشارات گازهای موجود در جهان می‌باشد [۴]. بر اساس نتایج ۱۰۰ سال گذشته، میانگین دمای کره زمین در اثر انتشار بی رویه گازهای گلخانه‌ای افزایش یافته است. با توجه به منابع طبیعی محدود و اثرات نامناسب استفاده از منابع مختلف انرژی بر روی سلامتی انسان و محیط زیست، ضرورت بررسی الگوهای مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به منظور استفاده مؤثر از آن در بخش کشاورزی حیاتی است [۵]. یکی از روش‌های بهینه سازی که به صورت گسترده در جهت نیل به اهداف عالی سامانه‌ها به کار برده می‌شود؛ تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) است. این تکنیک یک مدل ریاضی غیرپارامتری بوده که برای اندازه‌گیری کارایی نسبی مجموعهٔ واحدهای تصمیم گیرندهٔ (DMU) مشابه که چندین ورودی را به چندین خروجی تبدیل می‌کنند؛ به کار برده می‌شود [۶]. تحلیل پوششی داده‌ها از چهار مدل اصلی شامل مدل بازگشت به مقیاس متغیر، (VRS) مدل بازگشت به مقیاس ثابت، (CRS) مدل بازگشت به مقیاس افزایشی (IRS) و مدل بازگشت به مقیاس کاهشی (DRS) تشکیل شده است [۷]. استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها در بررسی و تحلیل انرژی مصرفی و انتشار آلاینده‌ها در تولید محصولات مانند خیار، عدس، آفتابگردان و گندم توسط محققان در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته است [۸-۱۰].

آذرپور و همکاران به ارزیابی ترازنامهٔ انرژی و شاخص‌های آن در تولید بادام‌زمینی پرداختند. آنها کل انرژی ستانده از بادام‌زمینی را ۸۲۵۰۰ مگاژول بر هکتار ارزیابی کردند، همچنین کودهای شیمیایی با ۲۹ درصد بیشترین سهم مصرف انرژی را داشتند، کارایی انرژی خروجی به ورودی ۳/۵۰ و بهره‌وری انرژی ۰/۱۴کیلوگرم برمگاژول برآورد شد [۱۱]. پیشگر و همکاران در مطالعهٔ خود پیرامون مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در کشت سیب‌زمینی در استان اصفهان نشان دادند که مقدار کل انرژی مصرفی و کربن دی‌اکسید منتشرشده به ترتیب ۴۷ گیگاژول و ۹۹۲/۸۸ کیلوگرم بر هکتار بوده است. آنها بیان کردند که بیشترین انرژی مصرفی متعلق به کودهای شیمیایی (۴۹٪) و به‌ویژه نیتروژن (۴۰٪) بود [۱]. در یک مطالعه مقدار انرژی مصرفی در تولید گندم و چغندرقند را در آلمان بررسی گردید. نتایج بررسی نشان داد بسته به سامانهٔ تولید و شرایط رشد نسبت انرژی برای گندم بین ۶ تا ۱۳ و برای چغندرقند بین ۱۱ تا ۲۹ است. نتایج نشان داد با افزایش کاربرد کود ازته عملکرد به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. کل انرژی مورد نیاز برای تولید گندم و چغندرقند بدون احتساب انرژی کود ازته به ترتیب برابر با ۷/۵ GJ/ha و ۸ GJ/ha بود [۱۲].

در تحقیقی به بررسی کارایی انرژی محصول خیار گلخانه‌ای در شهرستان شهرضا، با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها، (DEA) پرداختند. نتایج حاکی از آن است که نهادهٔ سوخت با ۴۷ درصد بیشترین و آب مصرفی با ۱/۲ درصد کمترین سهم مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. آنالیزها نشان داد که در مدل بازگشت به مقیاس ثابت، ۲۴ درصد و در مدل بازگشت به مقیاس متغیر، ۳۶ درصد از کل واحدها کارایی داشته و بقیه واحدها ناکارا بودند. میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به ترتیب ۹۰/۳۷، ۹۵/۰۹ و ۹۴/۶ برآورد شد. همچنین میانگین کارایی فنی واحدهای ناکارا بر اساس مدل بازگشت به مقیاس ثابت ۸۷ درصد محاسبه شد، به این معنا که ۱۳ درصد از کلیهٔ منابع می‌تواند به

وسیله بالا بردن کارایی این واحدها ذخیره شود [۱۳]. در تحقیقی به بررسی و بهینه‌سازی انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در انجام عملیات کشاورزی و باغبانی در شمال ایران پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که کیوی و بادمجان بالاترین نمرات را در کارایی فنی داشتند در حالی که نارنگی و چای بالاترین ارزش را در کارایی فنی خالص به خود اختصاص دادند [۱۴]. محققان در پژوهشی به بررسی میزان کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای با استفاده از بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید گندم شهرستان فریدون‌شهر استان اصفهان پرداختند. نتایج آنان بر آن بود که با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها می‌توان میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای را به میزان ۲۶۸۴/۲۹ کیلوگرم کربن دی‌اکسید در واحد هکتار کاهش داد [۴]. در یک تحقیق بررسی تأثیرات زیست محیطی و بهره‌وری انرژی بیوگاز و تولید بیواتانول از نیشکر و ملاس چغندرقند در استان خوزستان انجام شد و نتایج تجزیه و تحلیل تأثیرات زیست محیطی نشان داد که تولید بیواتانول از ملاس نیشکر از نظر پتانسیل گرم شدن کرهٔ زمین، کاهش فلزات، تشکیل ذرات معلق، مسمومیت انسانی و اکوسیستم‌های تغییر آب و هوا تأثیر بیشتری در مقایسه با چغندر قند دارد [۱۵]. در یک مطالعه بهینه سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید عدس آبی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد، آب آبیاری و کود نیتروژن به ترتیب با ۲۸٪ و ۲۰٪ دارای بیشترین سهم از کل انرژی ذخیره شده، بودند. مقادیر کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط واقعی و بهینه در یک هکتار زمین زراعی، به ترتیب ۹۳۰/۴۵ و ۸۸۲/۱۷ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار (٪۱۸/۵ کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای) محاسبه شدند. نهاده‌های الکتریسیته و سوخت دیزل به ترتیب ۳۷٪ و ۳۲٪ از کل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند [۱۶]. همچنین در پژوهشی محققان به بررسی اثرات زیست‌محیطی و مصرف انرژی در تولید چغندرقند در استان چهارمحال و بختیاری پرداختند که نتایج نشان داد میزان نشر گازهای گلخانه‌ای ۱۵۵۶/۸۵۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بر هکتار محاسبه شد و از این مقدار بیشترین سهم مربوط به نهاده‌های کود ازت، سوخت و برق بود [۱۷].

در تحقیقی دیگر با موضوع کمی‌سازی الگوی مصرف انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت چغندرقند مزارع شهرستان شیروان، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۴۶۲/۸ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بر هکتار محاسبه شد [۱۸]. مرور منابع مرتبط نشان داد با وجود گستردگی تحقیقات در زمینهٔ انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در محصولات کشاورزی ایران، در هیچ یک از آنها به بررسی انرژی و بهینه سازی آن و انتشار گازهای گلخانه‌ای، پیامدهای زیست محیطی ناشی از آن و بهینه سازی انتشار آلاینده‌های مرتبط با آن در محصول چغندرقند پرداخته نشده است. بنابراین هدف اصلی در این مطالعه بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش اثرات گلخانه‌ای در تولید محصول چغندرقند با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها در استان آذربایجان غربی (شهرستان نقده) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف مدل‌سازی و بهینه‌سازی انرژی مصرفی و میزان انتشار آلایندگی (نشر گازهای گلخانه‌ای) در کشت غالب شهرستان شهرستان نقده واقع در استان آذربایجان غربی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ صورت گرفته است. این شهرستان بر روی ۴۵ درجه و۲۲ دقیقه مدار شرقی و ۳۶ درجه و۵۷ دقیقه مدار شمالی با آب و هوای معتدل سرد و با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا در ۸۵ کیلومتری جنوب استان آذربایجان غربی واقع شده است. به‌منظور دست‌یابی به اطلاعات موردنیاز جهت تکمیل این مطالعه روش‌های مختلفی مورد استفاده قرارگرفته است. از جمله می‌توان به پرسش‌نامه، گفتگو و مصاحبه با کشاورزان و کارشناسان اشاره کرد. بعد از تعیین جامعهٔ آماری و تعداد نمونه‌های لازم، با کمک مصاحبه‌هایی که صورت گرفت، یک پرسش‌نامه طراحی شد. سپس در چند روستا ۱۰ پرسش‌نامه به‌طور تصادفی توزیع و تکمیل شده و بعد از بررسی، قسمت‌های غیرمرتبط و یا غیر ضروری حذف و پرسش‌نامهٔ نهایی با توجه به اهداف مورد مطالعه تدوین گردید. در این تحقیق برای برآورد حجم نمونه از روش‌های آماری استفاده شد. اما برای انجام آن نیاز به دانستن اطلاعات و پارامترهایی دربارهٔ جامعهٔ مورد مطالعه بود. به همین منظور ۱۰ پرسش‌نامه برای این محصول به

طور تصادفی در میان زارعین تکمیل و بر اساس نتایج حاصله از آنها و با استفاده از رابطهٔ پیشنهادی کوکران (رابطهٔ ۱) حجم نمونه برای هر محصول تعیین شد [۱۹; ۲۰].

حجم نمونه محصول چغندرقند ۵۳ به دست آمد، اما برای این‌که نمونه‌ها بتوانند به‌طور مؤثرتر و با اطمینان بیشتری بیانگر ویژگی‌های جامعه باشند ۶۰ پرسش‌نامه در نظر گرفته شد.

$$n = \frac{N(t.s)^2}{Nd^2+(t.s)^2} \qquad (۱)$$

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

در این رابطه N حجم جامعه، S انحراف معیارجامعه، d دقت احتمالی مطلوب، n حجم نمونه و t =۱.۹ است.

جدول ۱. محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید محصولات.

بخش	واحد	هم‌ارز انرژی (MJ/unit)	مرجع
الف – نهاده‌ها			
۱- نیروی کارگری	h	۱/۹۶	[۲۱]
۲- ماشین‌ها و ادوات	h	۶۲/۷۰	[۱۹]
۳- سوخت	L	۵۶/۳۱	[۱]
۴- کودهای شیمیایی	kg		
نیتروژن		۶۶/۱۴	[۲۱]
فسفر		۱۲/۴۴	[۲۱]
پتاسیم		۱۱/۱۵	[۲۱]
گوگرد		۱/۱۲	[۲۱]
آهن		۶/۳	[۲۱]
۵- کود دامی	kg	۰/۳	[۳]
۶- سموم	kg		
آفت‌کش		۱۹۹	[۴]
قارچ‌کش		۹۲	[۴]
علف‌کش		۸۵	[۲۲]
۷- الکتریسیته	kwh	۱۱/۹۳	[۲۲]
۸- بذر	kg		
کدوآجیلی		۲۵	[۲۲]
چغندرقند		۵۰	[۲۲]
ب – ستانده‌ها	kg		
۱- کدوآجیلی		۲۵	[۲۲]
۲-چغندرقند		۱۶/۸	[۲۲]

برای تعیین میزان انرژی معادل نهاده‌ها و ستانده‌ها از ضرایب انرژی متناظر با هر یک استفاده شد. ضرایب انرژی برای نهاده‌ها و ستانده‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. بنابراین انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها از ضرب میزان مصرف هر یک از آنها در ضریب انرژی ویژهٔ آن نهاده طبق رابطهٔ ۲ به دست می‌آید:

$$E_{input} = I_{consumption} \times ec_{input} \quad (۲)$$

در این رابطه، E_{input} انرژی معادل نهاده‌های مصرفی برحسب مگاژول، $I_{consumption}$ میزان نهادهٔ مصرفی (نیروی انسانی، سوخت فسیلی، الکتریسیته و غیره) برحسب واحد آن و ec_{input} محتوای انرژی نهاده برحسب مگاژول بر واحد می‌باشد.

روش محاسبه نشر گازهای گلخانه‌ای، نیز تا حدودی زیادی مشابه روش انرژی می‌باشد و نهاده‌های انتشار در ضرایب مربوطه ضرب شده و مقدار نشر گاز کربن دی‌اکسید به عنوان میزان نشر گازهای گلخانه‌ای برای نهاده در نظر گرفته شده است. نهاده‌های منتشرکننده گازهای گلخانه‌ای یا به عبارت دیگر نهاده‌های ایجادکنندهٔ کربن دی‌اکسید در این پژوهش شامل: ماشین‌ها، سوخت دیزل، کودهای شیمیایی، سموم و الکتریسیته می‌باشد.

میزان نشر گازهای گلخانه‌ای برای هر یک از نهاده‌ها از طریق رابطهٔ ۳ به دست می‌آید:

$$GHG_{emissions} = SI_{consumption} \times EC_{emissions} \quad (۳)$$

در این رابطه، $GHG_{emissions}$ میزان انتشار کیلوگرم CO_2 برای هر نهاده در واحد هکتار، $SI_{consumption}$ مقدار مصرف هر نهاده در واحد هکتار با توجه به واحد مربوطه و $EC_{emissions}$ ضریب انتشار استاندارد برای هر نهاده که در جدول ۲ ارائه شده است [۴; ۲۳].

جدول ۲. ضرایب استاندارد نشر گازهای گلخانه‌ای برای نهاده‌های کشاورزی.

بخش	واحد	هم‌ارز کربن دی‌اکسید ($kgCO_{2eq}$/unit)	مرجع
۱- ماشین‌ها	MJ	۰/۰۷۱	[۲۴]
۲- سوخت	L	۷۶/۲	[۲۴]
۳- کودهای شیمیایی	kg		
نیتروژن		۱/۳	[۲۵]
فسفر		۰/۲	[۲۵]
پتاسیم		۰/۲	[۲۵]
۴- سموم	kg		
علف‌کش		۶/۳	[۱]
آفت‌کش		۵/۱	[۳]
قارچ‌کش		۳/۹	[۳]
۵- الکتریسیته	kWh	۰/۶۰۸	[۱]

در این پژوهش با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) برای هریک از محصولات مورد مطالعه، در ابتدا واحدهای کارا از ناکارا، انرژی مصرفی را بهینه نموده و مقادیر ذخیره شده برای هر نهاده تعیین گردید. سپس مقدار کاهش نشر گاز گلخانه‌ای نیز بر اساس مقادیر بهینه نهاده تعیین شد. منظور از واحد در این مطالعه یک واحد تصمیم‌گیری (DMU) یا به عبارتی یک تولیدکننده است. نهاده‌های انرژی و انرژی ستانده برای هر محصول به ترتیب به عنوان ورودی و خروجی

تحلیل پوششی داده‌ها در نظر گرفته شد. بر این اساس و با توجه به آسانی کنترل نهاده‌های ورودی نسبت به عملکرد یا خروجی و با استفاده از مدل‌های بازگشت به مقیاس ثابت (CCR) و بازگشت به مقیاس متغیر (BCC)، در ورودی محور اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌ها صورت گرفت.

در این پژوهش علاوه بر محاسبهٔ شاخص‌های انرژی و نشر گازهای گلخانه‌ای برای محصول چغندرقند در منطقهٔ مورد مطالعه و تعیین واحدهای کارا و ناکارا از نظر مصرف انرژی و میزان انتشار آلایندگی به کمک تحلیل پوششی داده‌ها، با استفاده از نسخهٔ اصلی نرم‌افزار Frontier Analyst ۴ اقدام به بهینه‌سازی با تحلیل پوششی داده‌ها صورت گرفت که از جمله مزایای آن شامل پاسخ‌های صحیح و استاندارد نسبت به سایر نرم‌افزارهای غیر اصلی و رتبه‌بندی واحدهای کارا بوده است. علاوه بر این سهم هر یک از نهاده‌ها در ذخیرهٔ انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی گردید.

نتایج و بحث

تحلیل انرژی نهاده و ستانده در کشت چغندرقند

در جدول ۳ میزان مصرف انرژی نهاده‌ها و انرژی ستانده برای سطوح مختلف زیر کشت چغندرقند در سه سطح مذکور ارائه شده است. نتایج نشان داد متوسط مصرف انرژی برای یک هکتار چغندرقند ۳۷۵۴۸/۴۹ مگاژول و مقدار انرژی ستانده برابر ۲۶۵۹۰۸ مگاژول بر هکتار بود. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بین سطوح مختلف مزارع اختلاف معنی‌داری از لحاظ کل انرژی ورودی وجود دارد و از نظر تفاوت بین انرژی خروجی یا به عبارتی‌دیگر عملکرد برای سطوح مختلف مزارع معنی‌دار بود. بیشترین سطح زیر کشت مزارع این منطقه بین وسعت‌های (یک تا سه هکتار) می‌باشد. عملکرد زمین‌های متوسط با انرژی خروجی میانگین ۱۵۵۵۹۰/۴ مگاژول در هکتار به میزان زیادی بیش از باقی زمین‌هاست. واضح است افزایش استفاده از ماشین‌ها و ادوات در زمین‌های بزرگ و متوسط باعث شده تا تفاوت انرژی مصرفی زمین‌های بزرگ نسبت به زمین‌های کوچک بسیار بیشتر باشد اما از سوی دیگر افزایش مصرف کودهای شیمیایی در زمین‌های متوسط باعث بالاتر بودن نرخ انرژی مصرفی در این گروه از زمین‌ها نسبت به زمین‌های بزرگ و کوچک شده است. با توجه به این‌که حجم عملیات مکانیزه در زمین‌های بزرگ و متوسط بیش از سایر زمین‌ها است، انتظار می‌رفت مصرف علف‌کش در این زمین‌ها کمتر از سایر زمین‌ها باشد اما متأسفانه با افزایش اندازهٔ زمین، کشاورزان منطقه در زمینهٔ سموم شیمیایی افزایش مصرف را در دستور کار خود قرار داده‌اند. در زمینهٔ کودهای مصرفی، اکثر زمین‌های متوسط مصرف کود بیشتری را نسبت به سایر زمین‌ها داشتند و دلیل اصلی آن کمتر بودن سهم کشاورزان دارای زمین‌های کوچک از کود دولتی (کودی که به‌صورت یارانه) است. چغندرقند محصولی صنعتی می‌باشد که می‌توان گفت تقریبا ۹۵ درصد انجام عملیات از زمان آماده سازی زمین تا تحویل آن به کارخانجات چغندر، توسط ماشین‌آلات و به صورت مکانیزه انجام می‌گیرد که مصرف بالای سوخت در کاشت این محصول را در پی دارد.

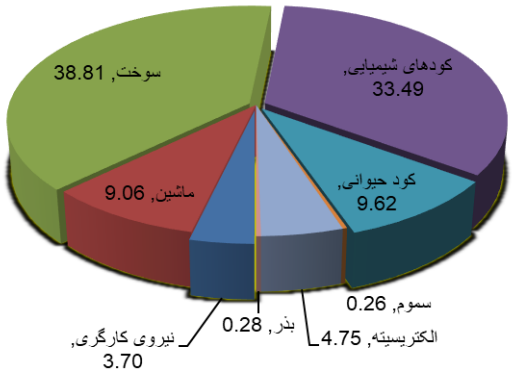
جدول ۳. انرژی نهاده‌ها و ستانده در تولید محصول چغندرقند در شهرستان نقده (مگاژول بر هکتار).

بخش	گروه‌بندی زمین در سه اندازه (هکتار)			میانگین
	کوچک (<۱)	متوسط (۱-۳)	بزرگ (>۳)	
الف - نهاده‌ها				
۱- نیروی کارگری	۲۲۹/۱۲	۷۶۲/۵۱	۱۹۵/۱۸	۱۳۹۱/۸۲
۲- ماشین‌ها و ادوات	۵۲۰/۴۱	۱۸۹۵/۱۰۷	۹۸۶/۴۸	۳۴۰۱/۹۹
۳- سوخت	۲۳۲۳/۷۲	۷۹۷۷/۲۵	۴۲۲۷/۰۵	۱۴۵۷۳/۰۲
۴- کودها				

بخش	گروه‌بندی زمین در سه اندازه (هکتار)			میانگین
	کوچک (۱>)	متوسط (۱-۳)	بزرگ (۳<)	
نیتروژن	۱۲۵۰/۰۴	۶۵۹۲/۲۵	۲۹۸۸/۹۵	۱۰۸۳۱/۲۵
فسفر	۱۹۸/۱۰	۶۰۶/۱۱	۲۷۸/۲۹	۱۰۸۲/۵۱
پتاسیم	۹۹/۱۴	۳۶۷/۵۴	۱۶۴/۴۶	۶۳۱/۱۷
گوگرد	۴/۶۶	۲۳/۴۳	۵/۳۷	۳۳/۴۸
کود دامی	۳۳۰	۲۳۱۵	۹۷۰	۳۶۱۵
۵- سموم				
حشره کش	۰/۸۴	۰/۸۹	۱/۱۹	۲/۹۳
قارچ کش	۲/۱۴	۱۰/۷۳	۵/۵۹	۱۸/۴۷
علف‌کش	۸/۹۲	۴۷/۰۰	۲۱/۲۲	۷۷/۱۵
۶- بذر	۱۵/۸۳	۶۱/۶۶	۲۸/۳۳	۱۰۵/۸۳
۷-الکتریسته	۱۳۰/۹۴	۱۱۳۲/۸۴	۵۲۰/۰۳	۱۷۸۳/۸۲
کل انرژی نهاده	۵۱۱۳/۹۱a	۲۱۷۹۷/۳۸b	۱۰۶۳۷/۲c	۳۷۵۴۸/۴۹
ب – ستانده				
۱- انرژی خروجی	۳۴۷۷۶a	۱۵۵۵۹۰/۴ab	۷۵۵۴۱/۲a	۲۶۵۹۰۷/۶

* حروف انگلیسی بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف آماری میان سطوح مختلف مزارع می‌باشد.

سهم هر یک از نهاده‌های انرژی در کشت یک هکتار چغندرقند در شهرستان در شکل نمایش داده شده است. با توجه به توضیحات ارائه شده درباره محصول چغندرقند نهاده سوخت با ۳۸/۸۱ درصد بیشترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. در این منطقه، نیتروژن به‌طور فزاینده‌ای نسبت به سایر کودها مورداستفاده قرار می‌گیرد که پس‌از سوخت، با ۳۳/۴۹ درصد در جایگاه بعدی مصرف انرژی در چغندرقند قرار دارد. استفاده مناسب و به‌اندازه کودها و یا جایگزینی کودهای زیستی و تناوب زراعی مناسب توسط کارشناسان کشاورزی می‌تواند تأثیر به سزایی در کاهش مصرف کود داشته باشد. همچنین استفاده از روش‌های خاک‌ورزی مناسب با میزان برگردان کردن کمتر خاک موجب کاهش سوخت مصرفی در منطقه می‌گردد. استفاده از ماشین‌های مناسب در منطقه نیز می‌تواند سهم به سزایی در کاهش مصرف انرژی سوخت داشته باشد.



شکل ۱. سهم نهاده‌های مختلف از کل انرژی ورودی در تولید چغندرقند (درصد).

پس از نهاده‌های کودهای شیمیایی و سوخت، کود حیوانی (۹/۶۲٪)، ماشین‌ها (۹/۰۶٪) و الکتریسیته (۴/۷۵ ٪) به ترتیب جزء نهاده‌های مصرف‌کننده انرژی در تولید چغندرقند بودند. همچنین سموم با ۰/۲۶٪ کمترین نقش در انرژی مصرفی کل را بر عهده داشتند. در تحقیقی مشابه توسط شیروانی و همکاران [۱۷] بیشترین مصرف انرژی در بین نهاده‌ها مربوط به کود نیتروژن (۴۵/۰۲٪)، سوخت (۲۲/۲٪) و الکتریسیته (۲۲/۱۵ ٪) برای تولید محصول چغندرقند استان چهارمحال بختیاری برآورد شد.

مقادیر شاخص‌های انرژی برای هر یک از محصولات مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت چغندرقند که جز مواد قندی به حساب می‌آید با ۷/۰۸ دارای بالاترین مقدار کارایی انرژی نسبت به سایر محصولات بود، زیرا معادل انرژی خروجی گیاهان قندی و روغنی نسبت به سایر محصولات به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. همچنین مقدار افزودهٔ خالص انرژی یا به عبارتی تفاضل انرژی خروجی از انرژی ورودی با توجه به معادل بالای انرژی خروجی محصولات قندی و روغنی به مقدار ۲۲۸۳۵۹ برای این محصول است.

درصد اشکال مختلف انرژی برای تولید هر محصول نیز در جدول ۴ ارائه شده است. چغندرقند به سبب مصرف بالای کودهای شیمیایی درصد انرژی غیرمستقیم به ترتیب با ۵۲/۴٪ بیش از انرژی مستقیم بود. در این محصول درصد انرژی تجدیدناپذیر با اختلاف چشم‌گیری بیشتر از انرژی تجدیدپذیر بود که با توجه به بحران انرژی و دغدغه‌های کاهش آلایندگی در عصر امروز این موضوع خود به شدت اهمیت این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۴. میزان شاخص‌های انرژی و سهم هریک از اشکال انرژی در تولید محصولات مورد مطالعه.

بخش	واحد	شهرستان نقده
۱- کارایی انرژی	-	۷/۰۸
۲- بهره‌وری انرژی	kg/MJ	۱/۸۳
۳- انرژی ویژه	MJ/kg	۰/۵۴
۴- افزوده خالص انرژی	MJ/ha	۲۲۸۳۵۹
۱- انرژی مستقیم	٪	۴۷/۶
۲- انرژی غیرمستقیم	٪	۵۲/۴
۳- انرژی تجدیدپذیر	٪	۸/۵
۴- انرژی تجدیدناپذیر	٪	۹۱/۵

پیش از این آذرپور و همکاران [۱۱] نسبت انرژی بادام‌زمینی را ۳/۵۰ محاسبه کردند که به مراتب کمتر از محصول مورد مطالعه (چغندرقند) ارزیابی شد. همچنین شیروانی و همکاران [۱۷] بهره‌وری انرژی چغندرقند استان چهارمحال بختیاری را برابر ۱/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول به‌دست آوردند که از بهره‌وری انرژی مطالعهٔ حاضر در شهرستان نقده (آذربایجان غربی) کمتر می‌باشد؛ که نشان دهندهٔ عملکرد و مدیریت مناسب‌تر مصرف نهاده در استان چهارمحال بختیاری است. بهره‌وری انرژی به معنای آن است که در ازای مصرف هر مگاژول انرژی به چه میزان محصول بر حسب کیلوگرم تولید می‌شود. لذا با قیاس نتیجهٔ ارزیابی مقادیر بهره‌وری انرژی محصول مشابه در دو منطقه، می‌توان به میزان کارایی یا بازدهی انرژی مصرفی پی برد. همچنین پیشگر کومله و همکاران [۲۴] کارایی انرژی برنج را ۱/۵۳ را به‌دست آوردند.

تحلیل نشر گازهای گلخانه‌ای در کشت چغندرقند

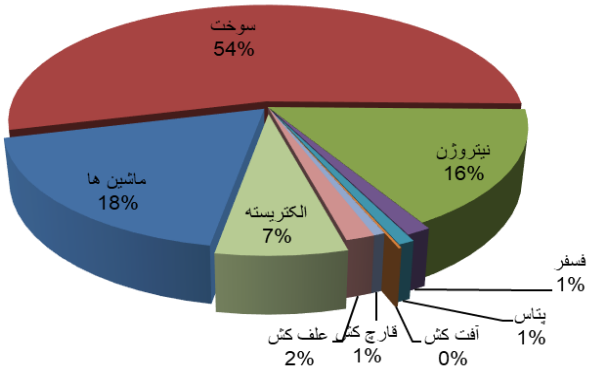
جدول ۵ میزان نشر گازهای گلخانه‌ای بر اساس سه سطح مزرعه را برای تولید چغندرقند نشان می‌دهد. نتایج بر آن است که میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای ۱۳۱۹ کیلوگرم کربن دی‌اکسید بر هکتار بود. همچنین اختلاف بین مزارع

متوسط با سایر مزارع از لحاظ میزان انتشار معنی‌دار بود. زمین‌های متوسط به سبب بیشتر بودن سطح زیر کشت و میزان بالای عملیات مکانیزه و استفاده از ماشین‌ها و سوخت بیشتر دارای بیشترین مقدار نشر نسبت به سایر مزارع بودند. در حالی‌که زمین‌های کوچک در مزارع چغندر دارای کمترین مقدار نشر در میان سه سطح گروه‌بندی‌شده بودند.

جدول ۵. میزان نشر گازهای گلخانه‌ای در تولید محصول چغندرقند (کیلوگرم کربن دی‌اکسید بر هکتار).

بخش	گروه‌بندی زمین در سه اندازه (هکتار)			میانگین کل
	کوچک (<۱)	متوسط (۱-۳)	بزرگ (>۳)	
۱- ماشین‌ها	۳۷	۱۳۵	۷۰	۲۴۲
۲- سوخت	۱۱۴	۳۹۱	۲۰۹	۷۱۴
۳-کودهای شیمیایی				
نیتروژن	۲۵	۱۳۰	۵۹	۲۱۳
فسفر	۳	۱۰	۴	۱۷
پتاسیم	۲	۷	۳	۱۱
۴- سموم				
حشره کش	۱	۱	۰	۲
قارچ کش	۱	۵	۲	۸
علف‌کش	۲	۱۲	۶	۲۰
۵- الکتریسیته	۷	۵۸	۲۷	۹۱
کل نشر گازهای گلخانه‌ای	۱۹۱a	۷۴۷ab	۳۸۰b	۱۳۱۹

سهم هر یک از نهاده‌های انتشار در میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای برای تولید چغندرقند در شکل مشخص شده است. بر این اساس سوخت با ۵۴/۱۶٪ پرنشرترین نهاده بوده و پس از آن ماشین‌ها و نتروژن به ترتیب با ۱۸/۳۱٪ و ۱۶/۱۴٪ بالاترین سهم را در میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای دارا بودند. همچنین حشره کش و قارچ کش نیز به ترتیب با ۰/۱۶٪ و ۰/۵۹٪ کمترین درصد مشارکت را در انتشار کل دارا بودند.



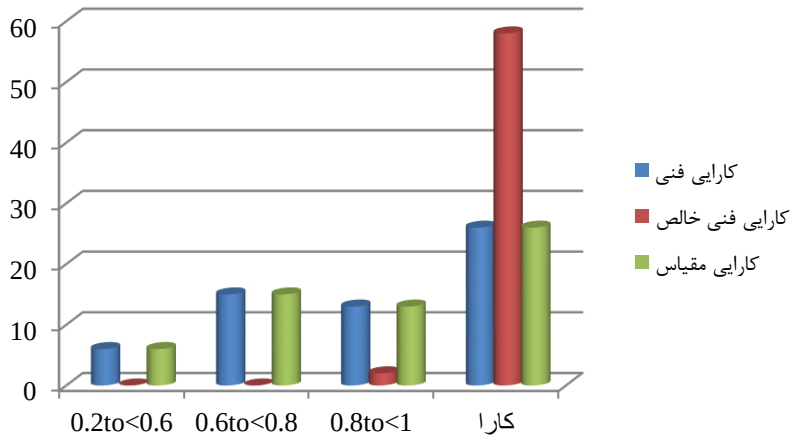
شکل ۲. سهم نهاده‌های مختلف از کل نشر گازهای گلخانه‌ای برای تولید چغندرقند.

قهدریجانی و همکاران [۲۵] در یک مطالعه با نتیجه‌ای تقریباً مشابه میزان کل نشر گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم استان اصفهان را ۸۷۴/۹۷ کیلوگرم CO_2 بر هکتار برآورد نمودند. همچنین بابایان و همکاران میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشت چغندرقند مزارع شهرستان شیروان، را ۲۴۶۲/۸ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار ارزیابی کردند [۱۸]. با توجه به ارزیابی محصول مشابه می‌توان دریافت میزان نشر گازهای گلخانه‌ای کشت محصول چغندرقند در شهرستان شیروان به مراتب بیشتر از کشت این محصول در شهرستان نقده (منطقه مورد مطالعه تحقیق) است.

بهینه‌سازی انرژی مصرفی و نشر گازها در کشت چغندرقند

نتایج مدل‌های BCC و CCR در شکل نشان داده شده است. بر این اساس از مجموع ۶۰ واحد بررسی شده در شهرستان نقده بر اساس مدل CCR، ۲۶ کشاورز دارای بالاترین کارایی فنی، ۱ بوده و این در حالی است که بر اساس مدل BCC، ۵۸ کشاورز دارای کارایی فنی خالص ۱ شناخته شدند. همچنین مقدار کارایی مقیاس نیز برای ۲۶ واحد برابر ۱ به‌دست آمد. دلیل تساوی تعداد واحدهای کارا در کارایی فنی و کارایی مقیاس آن است که ۲۶ واحدی که بر اساس مدل CCR کارا معرفی شدند قطعاً در مدل BCC نیز کارا هستند. لازم به ذکر است اختلاف ۳۲ عددی بین کارایی فنی خالص با کارایی فنی به دلیل نامناسب بودن مقیاس تولید برای آنها بوده است. همچنین از کشاورزان ناکارا به ترتیب ۱۳ و ۲ کشاورز دارای کارایی فنی و کارایی فنی خالص در محدوده ۰/۸ تا ۱ بوده‌اند. با توجه به نتایج حاصل میانگین کارایی فنی مزارع ناکارا در محصول چغندرقند با مدل CCR ورودی محور ۸۶/۵۴٪ به دست آمد. یعنی اگر از۱۳/۴۶٪ دیگر از نهاده‌ها استفاده شود و با ثابت ماندن میزان خروجی، واحدهای ناکارا می‌توانند به مرز کارایی برسد [۲۶; ۲۷].

شکل ۳ فراوانی کشاورزان تولیدکنندهٔ چغندرقند را از نظر انواع کارایی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد، مزارع ۵۹، ۳۴، ۳۱، ۴ و ۲۵ از کاراترین مزارع بودند و به تعداد ۱۴، ۲۰، ۱۱، ۱۱ و ۱۵ مرتبه به عنوان مرجع برای مزارع ناکارا معرفی شده‌اند. هر کدام از مزارع کارا که تعداد مرتبه‌دهی بیشتری به عنوان مرجع معرفی شوند در رده‌بندی مزارع کارا در ردهٔ بالاتری قرار خواهند گرفت، بنابراین مزرعهٔ شماره ۳۴ به عنوان کاراترین مزرعه معرفی شد. مقدار کارایی مزارع به این مفهوم است که هر کدام از مزرعه‌ها باید قادر باشند میزان مصرف خود را از کلیه نهاده‌ها به میزان (θ -۱) درصد کاهش دهند بدون این‌که میزان تولید کاهش یابد، (θ مقدار کارایی واحد ناکارا را نشان می‌دهد) [۲۷].



شکل ۳. فراوانی کشاورزان تولیدکنندهٔ چغندرقند از نظر انواع کارایی.

مقادیر میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر کارایی‌های مختلف برای کشاورزان چغندرقند در جدول ۶ ارائه شده است. بر این اساس، کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس برای کشاورزان به ترتیب برابر ۰/۸۴، ۰/۹۹، و ۰/۸۵ به دست آمده است.

جدول ۶. مقادیر مختلف کارایی‌های مختلف کشاورزان برای تولید چغندرقند در شهرستان نقده.

عنوان	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
کارایی فنی	۰/۸۴	۰/۱۸	۰/۳۲	۱/۰۰
کارایی فنی خالص	۰/۹۹	۰/۰۱۷	۰/۸۸	۱/۰۰
کارایی مقیاس	۰/۸۵	۰/۱۷	۰/۳۲	۱/۰۰

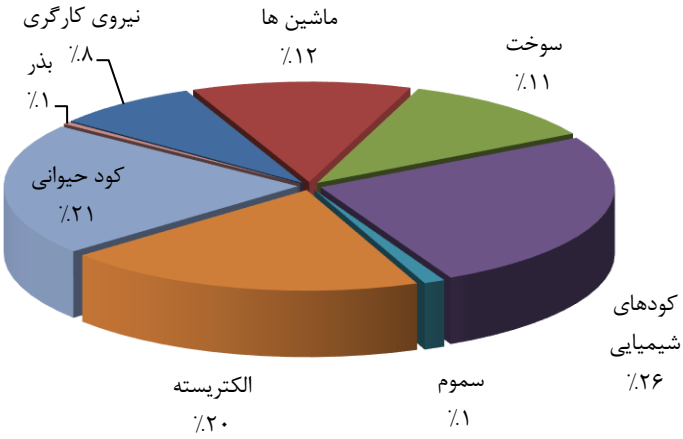
جدول ۷ مقادیر انرژی بهینه، انرژی ذخیره شده و درصد ذخیره برای تولید چغندرقند در شهرستان نقده را نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد میزان کل انرژی مورد نیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها برابر ۳۶۰۶۵/۵۳ مگاژول بر هکتار به‌دست آمده که سموم، الکتریسته و کود حیوانی به ترتیب با ۲۰/۸، ۱۹/۸۰ و ۱۰/۳۷ دارای بالاترین درصد ذخیره نسبت به حالت معمول مصرفی در مزارع بودند. همچنین ۴/۶۹ درصد از انرژی ورودی کل در کشت چغندرقند در منطقه تحت مطالعه بدون کاهش عملکرد قابل ذخیره خواهد بود.

جدول ۷. مقادیر بهینه و ذخیره شده انرژی برای چغندرقند در شهرستان نقده.

نهاده‌ها	مقادیر واقعی انرژی (مگاژول بر هکتار)	مقدار بهینه مصرف (مگاژول بر هکتار)	مقدار بهینه انرژی ذخیره شده (مگاژول بر هکتار)	درصد ذخیره
۱- نیروی کارگری	۱۳۹۵/۰۹	۱۲۵۳/۲۴	۱۴۱/۸۵	۱۰/۱۶
۲- ماشین‌ها و ادوات	۳۴۱۲/۷۹	۳۱۹/۶۱	۲۱۴/۱۹	۶/۲۷
۳- سوخت	۱۴۶۹۶/۲۸	۱۴۴۹۷/۲۲	۱۹۹/۰۵	۱/۳۵
۴- کودهای شیمیایی				
نیتروژن	۱۰۸۳۱/۲۵	۱۰۴۳۸/۳۸	۳۹۲/۸۶	۳/۶۲
فسفر	۱۰۸۳/۵۲	۱۰۴۴/۲۱	۳۹/۳	۳/۶۱
پتاسیم	۷۳۷/۶۴	۷۱۰/۸۸	۲۶/۷۵	۳/۶۱
گوگرد	۳۳/۴۸	۳۲/۲۶	۱/۲۱	۳/۶۲
۵-سموم				
آفت کش	۴/۱۱	۳/۲۵	۰/۸۵	۲۰/۸
قارچ کش	۱۸/۴۷	۱۴/۶۲	۳/۸۴	۲۰/۷۹
علف کش	۷۷/۱۵	۶۱/۰۹	۱۶/۰۵	۲۰/۸
۶-الکتریسته	۱۷۸۴/۶۶	۱۴۳۱/۱۸	۳۵۳/۴۷	۱۹/۸
۷-کود حیوانی	۳۶۵۳/۶۶	۳۲۷۴/۷۰	۳۷۸/۹۵	۱۰/۳۷
۸-بذر	۱۱۳/۴۳	۱۰۵/۸۴	۷/۵۸	۶/۶۸
کل انرژی نهاده	۳۷۸۴۱/۵۳	۳۶۰۶۵/۵۳	۱۷۷۵/۹۵	۴/۶۹

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، که از کل انرژی ذخیره شده، بیشترین سهم ذخیره به کودهای شیمیایی با ۲۶٪ و کود حیوانی ۲۱٪ و الکتریسته با ۲۰٪ تعلق داشته است. این امر نشان‌دهندهٔ مصرف بی‌رویه این نهاده‌ها در منطقه مورد مطالعه است. کوددهی بر اساس نیاز گیاه و آزمایش‌های خاک صورت گرفته، تناوب زراعی صحیح و استفاده

از گیاهان خانوادهٔ لگوم‌ها در این تناوب، کاربرد کودهای کمپوست و کودهای سبز می‌تواند در کاهش مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای ازته مفید باشد. بالا بودن مصرف الکتریسته به خاطر زیاد بودن تعداد دفعات آبیاری است که نشان از احتیاج بالای نیاز آبی گیاه چغندرقند می‌باشد.



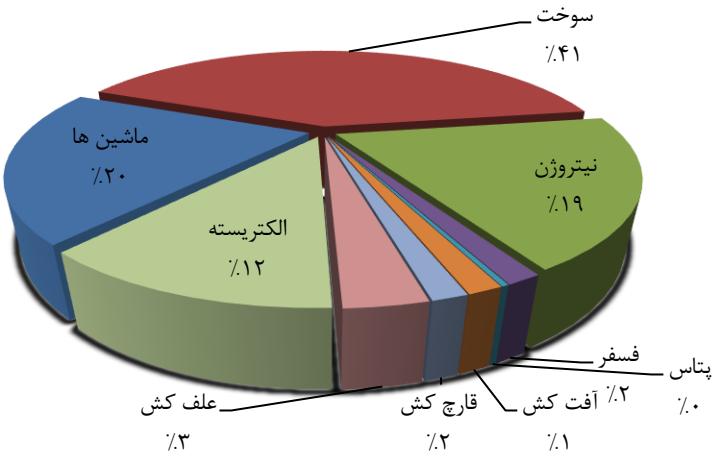
شکل ۴. سهم هریک از نهاده‌ها در ذخیره‌سازی انرژی در چغندرقند.

جدول ۸ نتایج مربوط نشر گازهای گلخانه‌ای در صورت اعمال نهاده‌های بهینه‌ی انرژی در تولید چغندرقند را نشان می‌دهد. بر این اساس میزان کل انتشار برابر ۱۰۳۷/۷۴ کیلوگرم کربن دی‌اکسید بر هکتار بوده که در مجموع باعث کاهش میزان انتشار در حدود ۲۴۶/۲۵ کیلوگرم کربن دی‌اکسید بر هکتار نسبت به حالت عادی مصرف می‌شود. همچنین بیشترین مقدار کاهش به ترتیب مربوط به نهاده‌های سوخت، ماشین‌ها و کود نیتروژن بود.

جدول ۸. نتایج تحلیل پوششی داده‌ها در نشر گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم کربن دی‌اکسید بر هکتار).

نهاده‌ها	مقدار نشر	مقدار نشر بهینه	مقدار کاهش‌یافته
۱- ماشین‌ها	۲۴۲	۱۹۲/۳۱	۴۹/۶۸
۲- سوخت	۷۱۴	۶۱۲/۵۱	۱۰۱/۴۸
۳- کودهای شیمیایی			
نیتروژن	۲۱۳	۱۶۵/۵۱۱	۴۷/۴۸
فسفر	۱۷	۱۳/۵۳	۳/۴۶
پتاسیم	۱۱	۱۰/۳	۰/۶۹
۴- سموم			
آفت کش	۴	۰/۶۲	۳/۳۷
قارچ کش	۸	۴/۵۶	۳/۴۳
علف کش	۲۰	۱۲/۱۹	۷/۸۰
۵- الکتریسته	۹۱	۶۲/۱۶	۲۸/۸۳
کل نشر گازهای گلخانه‌ای	۱۳۲۰	۱۰۳۷/۷۴	۲۴۶/۲۵

در شکل ۵ سهم هریک از نهاده‌های انتشار در کاهش نشر آلایندگی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای کشت محصول چغندرقند به معرض نمایش قرار داده شده است. نتایج نشان داد سوخت، ماشین‌ها و نیتروژن به ترتیب با ۴۱٪، ۲۰٪ و ۱۹٪ بالاترین سهم در کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند. در تحقیقی شیروانی و همکاران [۱۷] میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای کشت محصول چغندرقند در استان چهارمحال بختیاری را ۱۵۵۶/۸۵۹ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بر هکتار برآورد کردند که از این مقدار بیشترین سهم مربوط به کود ازت، سوخت و برق به ترتیب با میزان ۴۰/۲۲ ٪، ۳۱/۶۶ ٪ و ۲۱/۷۶ ٪ بود.



شکل ۵. سهم هریک از نهاده‌های انتشار در کاهش نشر آلایندگی برای تولید چغندرقند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سامانهٔ تولیدی محصول چغندرقند در شهرستان نقده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به منظور تشخیص تولیدکنندگان کارا از یکدیگر و تحلیل انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان دادند که میانگین کل انرژی مصرفی برای تولید یک هکتار چغندرقند ۳۷۵۴۸/۴۹ مگاژول و مقدار انرژی ستانده از این محصول۲۶۵۹۰۷/۶ مگاژول و به مقدار ۱۳۲۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن بر هکتار گازهای گلخانه‌ای منتشر گردید. همچنین بین انرژی کل نهاده‌ها و عملکرد محصول در سه سطح (زیر یک هکتار، بین یک تا سه هکتار و بالای سه هکتار) اختلاف معنی‌داری وجود داشت و بالاترین سهم مصرف انرژی کل و انتشار گازهای گلخانه‌ای به نهاده سوخت به ترتیب ۳۸/۸۸٪ و۵۴/۱۶٪ تعلق دارد. نتایج بهینه‌سازی مصرف انرژی و نشر آلایندگی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد که پتانسیل زیادی برای صرفه‌جویی در میزان مصرف انرژی و نشر گازهای گلخانه‌ای در منطقه وجود دارد، بدون این‌که این ذخیره انرژی و نشر گازهای گلخانه‌ای باعث کاهش میزان عملکرد محصول زارعین در این منطقه شود. بر این اساس ۴/۶۹ درصد از انرژی کل چغندرقند در شهرستان نقده، قابلیت ذخیره شدن دارند. همچنین تحلیل پوششی داده‌ها باعث کاهش گازهای گلخانه‌ای برای محصول چغندرقند به میزان ۲۴۶/۲۵ کیلوگرم دی‌اکسید کربن بر هکتار از گازهای گلخانه‌ای شد. کود شیمیایی بیشترین سهم از ذخیره سازی انرژی را با ۲۶ ٪ و نهاده سوخت با ۴۱ ٪ بالاترین سهم در کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص دادند. بنابراین توصیه می‌شود به انجام تحقیقات کاربردی در مورد تعیین میزان نیاز گیاه به عناصر مختلف بر این اساس که کودهای شیمیایی سهم قابل توجهی از انرژی مصرفی در تولید چغندرقند را دارند. با این کار امکان صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بالابردن کارایی انرژی فراهم می‌آید.

همچنین از مصرف بی‌رویه و غیر اصولی کودهای شیمیایی که اثرات مخرب زیست محیطی دارند جلوگیری می‌شود. تولید و استفاده از سوخت با کیفیت یا استفاده از سوخت‌های جایگزین که در سطح ملی باید به آن توجه ویژه شود یکی دیگر از راه‌های افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

References

[1] Pishgar-Komleh, S. H., Ghahderijani, M., & Sefeedpari, P. (2012). Energy consumption and CO2 emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Cleaner Production*, *33*, 183-191. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.008

[2] Loghmanpour Zarini, R., & Nabipour Afrouzi, H. (2020). Estimation of Energy Balance and Greenhouse Gas Emissions in Dairy Farms (Case study: Qazvin Province). *Karafan Quarterly Scientific Journal*, *17*(2), 13-21. https://doi.org/10.48301/kssa.2020.119204

[3] Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A., & Mohammadi, A. (2011). Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. *Journal of Cleaner Production*, *19*(13), 1464-1470. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.013

[4] Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2013). Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. *Energy*, *58*(3), 588-593. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.06.030

[5] Tzilivakis, J., Lewis, K. A., & Williamson, A. R. (2005). A prototype framework for assessing risks to soil functions. *Environmental Impact Assessment Review*, *25*(2), 181-195. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.02.003

[6] Zangeneh, M., Omid, M., & Akram, A. (2010). Assessment of agricultural mechanization status of potato production by means of artificial neural network model. *Australian Journal of Crop Science*, *4*(5), 372-377. https://doi.org/10.3316/INFORMIT.414752288850294

[7] Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., & Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, *32*(1), 35-41. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.01.007

[8] Nabavi-Pelesaraei, A., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Qasemi-Kordkheili, P., Kouchaki-Penchah, H., & Riahi-Dorcheh, F. (2016). Applying optimization techniques to improve of energy efficiency and GHG (greenhouse gas) emissions of wheat production. *Energy*, *103*, 672-678. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.003

[9] Patil, S., Mishra, P., Loganandhan, N., Ramesha, M., & Math, S. (2014). Energy, economics, and water use efficiency of chickpea (Cicer arietinum L.) cultivars in Vertisols of semi-arid tropics, India. *Current Science*, *107*(4), 656-664. https://www.jstor.org/stable/24103539

[10] Shamshirband, S., Khoshnevisan, B., Yousefi, M., Bolandnazar, E., Anuar, N. B., Abdul Wahab, A. W., & Khan, S. U. R. (2015). A multi-objective evolutionary algorithm for energy management of agricultural systems—A case study in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *44*, 457-465. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.038

[11] Azarpour, E., Moraditochaee, M., & Bozorgi, H. R. (2012). Evaluation energy balance and energy indices of peanut production in north of Iran. *African Journal of Agricultural Research*, *7*(16), 2569-2574. https://doi.org/10.5897/AJAR11.1897

[12] Reineke, H., Stockfisch, N., & Märländer, B. (2013). Analysing the energy balances of sugar beet cultivation in commercial farms in Germany. *European Journal of Agronomy*, *45*, 27-38. https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.10.004

[13] Taki, M., Ajabshirchi, Y., Abdi, R., & Akbarpour, M. (2012). Analysis of Energy Efficiency for Greenhouse Cucumber Production Using Data Envelopment Analysis (DEA) Technique; Case Study: Shahreza Township. *Journal of Agricultural Machinery*, *2*(1), 28-37. https://doi.org/10.22067/jam.v2i1.14291

[14] Mostashari-Rad, F., Nabavi-Pelesaraei, A., Soheilifard, F., Hosseini-Fashami, F., & Chau, K-W. (2019). Energy optimization and greenhouse gas emissions mitigation for agricultural and horticultural systems in Northern Iran. *Energy*, *186*, 115845. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.175

[15] Zaki Dizaji, H., Haroni, S., Sheikhdavoodi, M. J., Safieddin Ardebili, S. M., González Alriols, M., & Kiani, M. K. D. (2021). 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*, 1-15. https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1898493

[16] Elhami, B., Akram, A., & Khanali, M. (2017). Optimization of energy consumption and mitigation of greenhouses gas emissions of irrigated lentil production using data envelopment analysis. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *47*(4), 701-710. https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.60264

[17] ShirvaniBoroujeni, M., Zaki Dizaji, H., & Soleimani, M. (2020). Investigating environmental effects and energy consumption in sugar beet production and predicting product yield using ANN and ANFIS models in Chaharmahal and Bakhtiari province. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, *9*(2), 107-118. https://jrmam.sku.ac.ir/article_10148.html?lang=en

[18] Babaeian, M., Tavassoli, A., & Salehi, M. H. (2021). Quantification energy use pattern and greenhouse gas emissions in an agroecosystem (Case study: Farms of sugar beet in Hossein abad village of Shirvan city). *Rural Development Strategies*, *8*(2), 201-212. https://doi.org/10.22048/rdsj.2021.280684.1930

[19] Mobtaker, H. G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., & Akram, A. (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *137*(3), 367-372. https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.011

[20] Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S., & Mobtaker, H. G. (2014). Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. *Journal of Cleaner Production*, *65*, 311-317. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.019

[21] Zarini, R. L., Yaghoubi, H., & Akram, A. (2013). Energy use in citrus production of Mazandaran province in Iran. *African Crop Science Journal*, *21*(1), 61-65. https://www.ajol.info/index.php/acsj/article/view/86109

[22] Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, *30*(7), 981-990. https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005

[23] Nabavi Pelesaraei, A., Shaker Koohi, S., & Bagher Dehpour, M. (2013). Modeling and Optimization of Energy Inputs and Greenhouse Gas Emissions for Eggplant Production Using Artificial Neural Network and Multi-Objective Genetic Algorithm. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, *1*(11), 1478-1489. https://www.ijabbr.com/article_7973.html

[24] Pishgar-Komleh, S. H., Sefeedpari, P., & Rafiee, S. (2011). Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. *Energy*, *36*(10), 5824-5831. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.044

[25] Ghahderijani, M., Pishgar-Komleh, S., Keyhani, A., & Sefeedpari, P. (2013). Energy analysis and life cycle assessment of wheat production in Iran. *African Journal of Agricultural Research*, *8*(18), 1929-1939. https://doi.org/10.5897/AJAR11.1197

[26] Ghanbari, M., & Dehghani Soufi, M. (2022). Determination of Physical and Mechanical Properties of Lunar Cabbage. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, *18*(4), 133-144. https://doi.org/10.48301/kssa.2021.257384.1275

[27] Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A., & Mohammadi, A. (2011). Optimization of energy consumption for soybean production using Data Envelopment Analysis (DEA) approach. *Applied Energy*, *88*(11), 3765-3772. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.021