

Determining The Efficiency And Optimization of Energy Consumption In Dryland Wheat Production Under Uncertainty Conditions: A Case Study of Khoy County

MOSTAFA MARDANI NAJAFABADI¹, NASRIN OHADI²

1, Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

2, Graduated Ph.D. of Agricultural Economics, Ph.D. in Agricultural Economics, Sistan and Baluchestan University, Iran

(Received: May. 15, 2021- Accepted: Nov. 21, 2021)

ABSTRACT

In recent decades, along with other factors of production, energy has played a decisive role in the economic growth of countries. But high levels of energy intensity have negative effects on the environment. Therefore, attention to energy efficiency and optimization discussion shows its importance. The aim of this study is investigate the efficiency and optimization of energy consumption of dryland wheat in Khoy under uncertainty. The data used in this study was collected through a face to-face questionnaire method with 192 dry land wheat farmer in year 2019. The results showed that the total input energy is 20137.06 MJ h⁻¹, the highest amount is related to the diesel-fuel (58.12%), seeds (15.40%) and machinery (14.15%), respectively. The total energy output was 47966.42 MJ h⁻¹ and energy efficiency indicators for the constant returns to scale and variable returns to scale model are 5.6 and 2.5, respectively. By applying these parameters, the total optimum energy for the models presented were calculated 8565.3 and 18726.47 MJ h⁻¹, respectively. It means that we can reduced 53.7% and 7% energy consumption in the production of this product. In the region under study, wheat production is mainly related to non-renewable resources (83%), which it is a serious risk to human health and environmental pollution. For example, at a level of conservatism of 7 ($\Gamma = 7$) in the CRS model, 57.3% of total energy consumption and 64.8% of fuel consumption can be reduced, which indicates the inefficiency of farmers. Therefore, the use of mechanized equipment to reduce fuel consumption and reduce the applying of labor for threshing is recommended.

Keywords: Index of Energy Efficiency, Khoy, Robust Data Envelopment Analysis, Wheat

Extended Abstract

Introduction

In recent decades, along with other factors of production, energy has played a decisive role in the economic growth of countries. But high levels of energy intensity have negative effects on the environment. Therefore, attention to efficiency discussion as a solution in the field of environmental crises shows its importance. Wheat is the most commonly used agricultural product in Iran and the world, which energy consumption in the production of cereals such as wheat, in recent years had an upward trend. Khoy city is one of the important centers of agricultural production, especially cereals in West Azerbaijan. According to the statistics of Jihad Agricultural Organization in the crop year 1398, 10 thousand and 700 hectares of agricultural land in Khoy city is allocated to wheat cultivation, which 5 thousand and 800 hectares are rainfed and 4 thousand and 900 hectares are irrigated. Therefore, it is necessary to employment efficiency assessment methods and optimization energy consumption in dryland wheat production in Khoy city. The aim of this study is investigate the efficiency and optimization of energy consumption of dryland wheat in Khoy under uncertainty.

Material and methods

One of the models for measuring the efficiency is Data Envelopment Analysis. The precision and exact data use to assess the efficiency of production units in classical data envelopment analysis (DEA)

approach. The data envelopment analysis method measures the efficiency of each decision-making unit relatively and offers management solutions. Therefore, any firm that is on the border of efficiency is efficient and otherwise inefficient. In general, data envelopment analysis method can be divided into two types of constant return to scale (CRS) and variable return to scale (VRS). In classical data envelopment analysis models, accurate and definite data are used to measure the efficiency of production units. While, in the real world cannot be specified a precise values for each of the inputs and outputs data. In the current study was paid to determining of dry land wheat farms energy efficiency using the Robust Data Envelopment Analysis technique (RDEA) in Khoy city located in West Azerbaijan province. The RDEA model can be presented as a nonlinear programming model below:

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad & \theta_p = \sum_{r=1}^s u_r y_p^U - z_p \gamma_p^Y - \sum_{r=1}^s p_r, \\
 \text{s.t} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{ip}^L + z_p \gamma_p^X - \sum_{i=1}^m q_{ip} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{ij}^L - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^U - z_j \Gamma_j + \sum_{r=1}^s p_{rj} + \sum_{i=1}^m q_{ij} \leq 0 \quad \forall j \neq p, \\
 & z_j + p_{rj} \geq u_r (y_{ij}^U - y_{ij}^L), \quad \forall r, j \\
 & z_j + q_{ij} \geq v_i (x_{ij}^U - x_{ij}^L), \quad \forall i, j \\
 & \theta_p \leq 1, \\
 & v_i, u_r \geq \varepsilon, \quad \forall i, r \\
 & z_j, q_{ij}, p_{rj} \geq 0, \quad \forall i, j, r
 \end{aligned}$$

The statistical population of this research is rainfed wheat farmers in Khoy city. The required data were obtained by completing a farmers' questionnaire considering the statistical population and using a simple random sampling method in 2019. To determine the sample size, the study of James et al. (Bartlett, 2001) was used for continuous data (measurable data). In their study, the modified Cochran's formula for continuous and classified variables was used; So that the sample size is measured using the following equation.

$$n = \frac{n_0}{1 + \left(\frac{n_0 - 1}{N} \right)}$$

In this study, analysis of data was done using Microsoft Excel and the statistical analysis software GAMS.

Results and discussion

The results showed that the most energy input is related to the Diesel-fuel (58/12%) and energy efficiency indicators for the constant returns to scale and variable returns to scale model are 5.6 and 2.5, respectively. By applying these parameters, the total optimum energy for the models presented were calculated 8565.3 and 18726.47 MJ h⁻¹, respectively. It means that we can reduced 53/7% and 7% energy consumption in the production of this product. Also at level 7 ($\Gamma = 7$) for CRS and VRS models with input-oriented approach, the results showed that according to the consumption of inputs in this region, 38 wheat farmers (60%) in CRS model and 43 wheat farmers (68%) in VRS model is full efficient, which means that the majority of farms in the study area have the necessary efficiency. It is obvious that at the level of less than 0.6 in the CRS model 13 farmers and in the VRS model only two farmers were inefficient.

Conclusions and Recommendations

In the region under study wheat production is mainly related to non-renewable resources (83%), which it is a serious risk to human health and environmental pollution. For example, at a level of conservatism of 7 ($\Gamma = 7$) in the CRS model, 57.3% of total energy consumption and 64.8% of fuel consumption can be reduced, which indicates the inefficiency of farmers. Therefore, in the region under study, the use of mechanized equipment to reduce fuel consumption and reduce the applying of labor for threshing is recommended.

تعیین کارایی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید گندم دیم تحت شرایط عدم حتمیت: مطالعه موردی شهرستان خوی

مصطفی مردانی نجف‌آبادی^{۱*}، نسرين اوحدی^۲

۱، دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران

۲، دانش آموخته دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۸/۳۰)

چکیده

طی دهه‌های اخیر انرژی در کنار سایر عوامل تولید نقش تعیین کننده‌ای در رشد اقتصادی کشورها داشته است اما سطح بالای شدت انرژی اثرات منفی بر محیط زیست دارد. بنابراین، توجه به مبحث کارایی و بهینه‌سازی انرژی اهمیت خود را نمایان می‌سازد. مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی و بهینه‌سازی مصرف انرژی گندم دیم شهرستان خوی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های استوار تحت شرایط عدم حتمیت انجام شد. داده‌ها به طور تصادفی و از طریق تکمیل ۱۹۲ پرسشنامه و مصاحبه چهره به چهره از کشاورزان این منطقه در سال ۱۳۹۸ جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد کل انرژی نهاده ۲۰۱۳۷/۰۶ مگاژول در هکتار است که بیشترین سهم آن به ترتیب مربوط به سوخت دیزل (۵۸/۱۲٪)، بذر (۱۵/۴۰٪) و ماشین آلات (۱۴/۱۵٪) است. کل انرژی ستانده نیز ۴۷۹۶۶/۴۲ مگاژول در هکتار به دست آمد و شاخص کارایی انرژی برای مدل‌های بازده ثابت نسبت به مقیاس و بازده متغیر نسبت به مقیاس به ترتیب ۵/۶ و ۲/۵ به دست آمد. کل انرژی بهینه با اعمال این شاخص‌ها برای مدل‌های معرفی شده به ترتیب ۸۵۶۵/۳ و ۱۸۷۲۶/۴۷ محاسبه شد. بدین معنی که می‌توان به میزان ۵۳/۷٪ و ۷٪ انرژی مصرفی را در تولید این محصول کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌های استوار، شاخص کارایی انرژی، شهرستان خوی، گندم

مقدمه

سبب تبدیل بخش کشاورزی به یک بخش انرژی محور شده است (Yazdani et al., 2017). به عبارت دیگر، امروزه بخش کشاورزی جهت پاسخگویی به نیاز روز افزون غذا برای جمعیت رو به رشد کره زمین به میزان زیادی وابسته به مصرف انرژی می‌باشد. نهاده‌هایی مانند سوخت، الکتریسیته، ماشین‌ها، کود و سموم شیمیایی سهم قابل ملاحظه‌ای در تأمین منابع انرژی برای تولید محصولات کشاورزی دارند (Fathi et al., 2018). اما با توجه به بحران انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از

رشد و توسعه اقتصادی نیازمند استفاده از انرژی به عنوان یکی از مهم‌ترین نهاده‌های تولید است و عدم دسترسی به انرژی مقرون به صرفه و قابل اعتماد، عامل ایجاد عقب ماندگی‌های اقتصادی و اجتماعی در بسیاری از نقاط جهان شده است (Ohadi et al., 2018; Ohadi et al., 2019). طی دهه‌های اخیر به دلیل رشد روز افزون جمعیت، افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی، حرکت به سمت مکانیزاسیون و عدم مدیریت صحیح،

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی گندم دیم و کارایی مصرف آن انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. Safa (2002) & Tabatabaefar با بررسی انرژی مصرفی در تولید گندم آبی و دیم در منطقه ساوه، نسبت انرژی در گندم آبی را ۱/۱۷ درصد و در گندم دیم ۹۹ درصد برآورد کردند. همچنین بیشترین انرژی مصرفی در گندم آبی مربوط به آبیاری و در گندم دیم مربوط به کود شیمیایی گزارش شد. (Molaei et al (2009) به بررسی انرژی گندم دیم در سه منطقه شهرستان اقلید استان فارس پرداختند. نسبت انرژی در مناطق خسروشیرین، سده و دژکرد به ترتیب ۱/۰۶۸، ۱/۱۹ و ۹۱ درصد به دست آمد که نهاده‌های کود شیمیایی و سوخت بیشترین سهم انرژی مصرفی در هر سه منطقه را دارا بودند. (Taleghani (2011) نیز انرژی مصرفی و کارایی انرژی در تولید گندم دیم و آبی مزارع آستان قدس رضوی مشهد مورد ارزیابی قرار داد. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار انرژی ورودی مصرفی و خروجی تولیدی (دانه گندم) در زراعت گندم آبی به ترتیب به طور متوسط ۷۷۳۱۵۵۳ و ۲۰۵۱۷۸۰۰ کیلو کالری در هکتار و کارایی انرژی به ترتیب برای دانه، کاه و عملکرد بیولوژیک (جمع دانه و کاه) به طور متوسط ۲/۶۵، ۲/۱۴ و ۴/۸ درصد بود. (Ajabshirchi (2011) در مطالعه‌ای کارایی انرژی محصول گندم دیم را در دشت سیلاخور را با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که انرژی بذر، کود و سموم شیمیایی در گندم دیم به ترتیب با ۶۳/۶۳، ۵۶ و ۵۴/۰۷ درصد بیشترین سهم مصرف انرژی را به خود اختصاص دادند. همچنین نتایج حاصل از روش تحلیل پوششی داده‌های انرژی حاکی از این بود که میانگین کارایی انرژی در سطوح سه‌گانه زیرکشت به ترتیب ۸۲، ۷۸ و ۶۸ درصد است. بیشترین مصرف نادرست انرژی و همچنین بیشترین سهم از کل انرژی ذخیره‌ای مربوط به نهاده کود، بذر و سموم شیمیایی و سپس سوخت مصرفی است. (Ghorbani et al (2011) به تحلیل اقتصادی و انرژی مصرفی گندم دیم و آبی در خراسان شمالی پرداختند. نتایج نشان داد کل انرژی مورد نیاز در

مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی تمام تلاش‌ها بر آن است که مصرف انرژی بخش کشاورزی تا حد امکان کاهش یابد (Mardani Najafabadi et al., 2021). لذا اندازه‌گیری کارایی (یا راندمان) انرژی در فرایند تولید محصولات کشاورزی، اولین قدم در راستای بهینه نمودن استفاده از منابع انرژی موجود می‌باشد. در این راستا در اکثر کشورهای پیشرفته و حتی در حال توسعه، انرژی وارد شده در واحد سطح برای تولید محصولات مختلف کشاورزی را بررسی و با محاسبه شاخص کارایی انرژی سعی کرده‌اند سیستم کشاورزی خود را از نظر مصرف انرژی بهینه کنند. استفاده کارا از انرژی‌های بخش کشاورزی به عنوان یکی از شرایط پایدار بخش کشاورزی علاوه بر آنکه صرفه‌جویی مالی را به همراه دارد باعث حفظ منابع فسیلی و کاهش آلودگی آب و خاک و هوا نیز می‌شود (Pervanchon et al, 2002). بنابراین ارزیابی کارایی تولید محصولات کشاورزی موضوعی مهم در اجرای فرآیند توسعه کشاورزی کشورهای در حال توسعه می‌باشد؛ زیرا از این رهگذر، اطلاعات سودمند در زمینه تصمیم‌گیری‌های مناسب برای مدیریت دقیق در راستای تخصیص منابع و تنظیم سیاست‌های کشاورزی در اختیار برنامه‌ریزان قرار می‌گیرد (Ahmad & Jun, 2015). گندم پرمصرف‌ترین محصول کشاورزی در ایران و جهان است که مصرف انرژی در تولید غلات از جمله گندم طی سالیان گذشته روندی صعودی داشته است (Kordoni et al, 2018). شهرستان خوی یکی از قطب‌های مهم تولید محصولات کشاورزی خصوصاً غلات در آذربایجان غربی است به طوری که طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹۸، ۱۰ هزار و ۷۰۰ هکتار زمین کشاورزی در شهرستان خوی به کشت گندم اختصاص یافته که ۵ هزار و ۸۰۰ هکتار آن به صورت دیم^۱ و ۴ هزار و ۹۰۰ هکتار به صورت آبی است (Ministry of Agriculture Jihad. 2019). بنابراین به کارگیری روش‌های ارزیابی کارایی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید گندم دیم شهرستان خوی ضروری می‌باشد.

۱. دیم‌کاری به روش تولید بدون استفاده از آبیاری اطلاق شده که این روش کشت در ایران از سابقه بسیار طولانی برخوردار بوده و در کشاورزی نیز نقش مهمی ایفا می‌کند.

اند که از میان آنها می‌توان به مطالعات Shokouhi et al, 2010; Mardani Najafabadi & Salarpour, 2015; Mardani Najafabadi & Abdeshahi, 2019 اشاره نمود.

مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی و بهینه‌سازی مصرف انرژی گندم دیم شهرستان خوی با رویکرد تلاش برای محاسبه راه حل‌های ممکن برای طیف وسیعی از پارامترهای غیردقیق به همراه بهینه‌سازی تابع هدف با کنترل مبتنی بر عدم قطعیت انجام شد.

مواد و روش‌ها

شاخص‌های انرژی

ارتباط بین بخش کشاورزی و انرژی بسیار نزدیک است. به طوری که بخش کشاورزی هم به عنوان تولیدکننده و هم به عنوان مصرف کننده محسوب می‌شود. انرژی‌های مصرفی برای تولید کشاورزی به دو بخش انرژی مستقیم^۱ و انرژی غیر مستقیم^۲ تقسیم می‌شوند. انرژی زراعی مستقیم، طیف وسیعی از اشکال انرژی است که بطور مستقیم در مزرعه استفاده می‌شود. مصرف مستقیم انرژی در تولید گندم دیم شامل: سوخت موردنیاز تراکتورها (جهت آماده کردن زمین و حمل و نقل) و نیروی کار انسانی می‌باشد. همچنین مصرف غیرمستقیم انرژی در تولید گندم دیم شامل: انرژی مصرفی جهت حمل و نقل کودها و سموم شیمیایی چون علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها و انرژی موجود در بذر گندم می‌باشد. منابع انرژی تجدیدپذیر^۳ شامل: نیروی کار انسانی و دانه، در حالی که انرژی تجدیدناپذیر^۴ شامل ماشین‌آلات، سوخت دیزل، کود و مواد شیمیایی می‌باشند (Mousavi-Avval et al, 2011). مقدار مصرف انرژی بسته به نوع سیستم‌های کشاورزی، نوع محصول، نوع خاک، ماهیت عملیات خاک‌ورزی جهت آماده سازی بستر بذر، نوع و میزان کودهای شیمیایی، عملیات کاشت و برداشت می‌باشد (Hormozi et al, 2013). معادل انرژی‌های نهاده و ستانده بکار گرفته شده در این مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. مقادیر معادل

سیستم دیم ۹۳۵۴/۲ مگاژول بر هکتار و تحت سیستم آبیاری ۵۴۳۶۷/۶ مگاژول بر هکتار برآورد گردید.

(Maleki et al (2013) به ارزیابی کارایی مصرف انرژی بوم نظام زراعی گندم در استان ایلام پرداختند. نتایج نشان داد که میزان انرژی مصرفی در گندم ۲۹۱۸۵/۱۹ مگاژول بر هکتار است. همچنین بیشترین میزان انرژی مصرفی مربوط به کودهای شیمیایی به میزان ۳۸ درصد است در حالی که کمترین مقدار انرژی مربوط به نهاده‌های نیروی کار و سموم شیمیایی به ترتیب میزان ۹۶/۰۴ مگاژول بر هکتار (۰/۳ درصد) و ۱۸۴/۱ مگاژول بر هکتار (۰/۶ درصد) است. Fathi et al (2018) نیز میزان مصرف انرژی و کارایی آن برای تولید گندم در شهرستان چرداول استان ایلام را با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها بررسی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که انرژی سوخت، بذر و کود از ته به ترتیب با ۴۸، ۲۲ و ۱۹ درصد بیشترین سهم را در میان انرژی‌های ورودی به خود اختصاص دادند. میانگین کل انرژی ورودی برای تولید گندم ۱۰۵۳۲/۹۰ مگا ژول بر هکتار و انرژی خروجی، ۳۱۵۶۸/۹۸ مگاژول بر هکتار می‌باشد. همچنین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس کشاورزان با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به ترتیب برابر ۸۸، ۹۷ و ۹۱ درصد گزارش شد.

بررسی مطالعات انجام شده حاکی از آن است که مسئله مهم عدم اطمینان در داده‌های ورودی و خروجی (مقادیر نهاده و ستانده) از مواردی است که در مطالعات یاد شده مورد توجه قرار نگرفته و با توجه به حساسیت روش‌های تحلیل کارایی از جمله روش تحلیل پوششی داده‌ها ممکن است باعث گمراهی در تفسیر نتایج شود. به عبارتی وجود عوامل نامطمئن در پیش‌بینی پارامترهای به‌کار رفته در این نوع از ابزار برنامه‌ریزی باعث ایجاد سردرگمی فراوان در نتایج مربوط به این نوع از مدل‌ها شده و باعث پیدایش نسل جدیدی از مسائل بهینه‌سازی در شرایط عدم حتمیت شده است (Abdeshahi et al, Mardani Najafabadi et al, 2013). بنابراین اخیراً مطالعاتی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های استوار به شناسایی کاراترین واحدهای تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت پرداخته-

1. Direct energy
2. Indirect energy
3. Renewable energy
4. Non-renewable energy

انرژی از حاصل ضرب مقدار نهاده مصرف شده هر هکتار در عامل تبدیل انرژی آنها تعیین شد. مطابق جدول، ضرایب انرژی برای نیروی کار ۱/۹۶، ماشین آلات ۶۲/۷ و سوخت دیزل ۵۶/۳۱ مگاژول در هکتار محاسبه شده و بطور مشابه برای سایر موارد در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ضرایب معادل انرژی نهاده و ستاده‌ها در تولید محصول گندم

منابع	معادل انرژی (مگاژول بر واحد)	واحد	نهاده-ستاده
			نهاده‌ها
Ozkan et al(2004), Singh et al(2002)	۱/۹۶	نفر-روز	نیروی کار
Erdal et al(2007), Singh et al(2002)	۶۲/۷	ساعت	ماشین آلات
Erdal et al(2007), Singh et al(2002)	۵۶/۳۱	لیتر	سوخت دیزل کود شیمیایی
Yilmaz et al(2005), Esengun et al(2007)	۱۲/۴۴	کیلوگرم	فسفات
Yilmaz et al(2005), Esengun et al(2007)	۱۱/۱۵	کیلوگرم	پتاسیم
Ozkan et al(2005), Demircan et al(2006)	۰/۳	کیلوگرم	کود حیوانی
Singh et al(2002), Demircan et al(2006)	۱۲۰	کیلوگرم	مواد شیمیایی
Ozkan et al(2004)	۱۴/۷	کیلوگرم	بذر
			ستاده‌ها
Ozkan et al(2004)	۱۴/۴	کیلوگرم	گندم
Ozkan et al(2004)	۱۲/۲	کیلوگرم	کاه

رابطه ۲ بیانگر شاخص بهره‌وری انرژی می‌باشد. این شاخص به معنی نسبت مقدار محصول به دست آمده به انرژی نهاده در طول دوره تولیدی بوده که بهترین تخصیص استفاده منابع انرژی را در واحد تولیدی نشان می‌دهد.

$$(۲) \quad \text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{محصول گندم}}{\text{کل انرژی نهاده}}$$

اما شاخص انرژی ویژه در رابطه ۳ ارائه شده است. این شاخص از لحاظ ریاضی برعکس شاخص بهره‌وری انرژی می‌باشد. هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد بیانگر هدر رفت بیشتر انرژی است.

$$(۳) \quad \text{کل انرژی ویژه} = \frac{\text{کل انرژی نهاده}}{\text{محصول گندم}}$$

با توجه به معادل انرژی نهاده و ستاده (جدول ۱) می‌توان به محاسبه کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، بهره‌وری نیروی کار، انرژی ویژه و انرژی خالص پرداخت (Khan & Singh G, 1996; Khan et al, 1997; Mandal et al, 2002; Singh et al, 2004).

نسبت کارایی انرژی در رابطه ۱ مشخص شده است. این نسبت شاخصی برای نشان دادن میزان کارایی انرژی واحد تولیدی در بخش کشاورزی است. در رابطه ۱، کل انرژی ستانده و نهاده هر دو بر حسب مگاژول بر کیلوگرم می‌باشند. بنابراین از آنجا که در معادله (۱) واحد عوامل در صورت و مخرج بصورت یکسان بوده، شاخص کارایی انرژی دارای واحد نبوده و به این طریق می‌توان به مقایسه کارایی انواع واحدهای تولیدی پرداخت. بهبود مقدار شاخص کارایی انرژی واحد زراعی به معنی بهبود در مصرف انرژی آن واحد زراعی است.

$$(۱) \quad \text{نسبت کارایی انرژی} = \frac{\text{کل انرژی ستانده}}{\text{کل انرژی نهاده}}$$

ارائه می‌کند که در برگزیده‌ی کارایی فنی خالص یعنی کارایی ناشی از مدیریت و کارایی ناشی از صرفه‌جویی مقیاس یک بنگاه باشد (Ohadi et al, 2015). فرم کلی روش CRS با رویکرد نهاده‌گرا به صورت رابطه ۷ است.

$$\begin{aligned} \text{Max } \theta_0 &= \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}, \\ \text{subject to } &\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1, \\ (7) \quad &\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad \forall j, \\ &u_r, v_i \geq 0 \quad \forall r, i. \end{aligned}$$

متغیرهای این الگو $u \in R^s \times 1$ و $v \in R^m \times 1$ هستند. v_i و u_r به ترتیب مربوط به وزن های ورودی i و خروجی r هستند. θ_0 کارایی حاصل از برتری ورودی‌ها و خروجی‌های واحد تصمیم‌گیرنده o با استفاده از حداکثر نمودن تابع هدف در الگوی ۷ و با توجه به متغیرهای وزنی است (Mardani Najafabadi et al, 2019).

بر اساس نتایج تحقیق کوئلی^۲ و همکاران در سال ۱۹۹۸ مدل بازده ثابت به مقیاس (CRS) مدلی مناسب برای مواقعی است که کشاورزان در مقیاس بهینه عمل می‌کنند (قسمت مسطح هزینه متوسط بلند مدت). در حالی که بعضی از عوامل مانند رقابت ناقص، محدودیت‌های مالی، تغییر ناگهانی آب و هوا، بروز آفت‌ها و نظایر آن ممکن است سبب شود که یک واحد کشاورزی، در اندازه و وسعت بهینه اقتصادی فعالیت نکند برای رفع این مشکل بانکر و همکاران مدل بازده متغیر به مقیاس (VRS) را معرفی نمودند (Ahmad and Jun, 2015; Despotis et al, 2006). برای کارایی مقیاس، کافی است که متغیر w به سمت چپ محدودیت دوم و تابع هدف الگوی ۷ اضافه گردد. برای بررسی مهارت کشاورزان در امور تولیدی، از کارایی فنی خالص استفاده می‌شود. برای محاسبه این نوع کارایی، می‌توان از تقسیم کارایی فنی به کارایی مقیاس استفاده نمود. با توجه به آنچه که بحث شد روش تحلیل پوششی داده‌ها ابزاری قدرتمند برای اندازه‌گیری کارایی است وقتی که نهاده‌ها و ستانده‌ها قطعی هستند. از آنجایی که در دنیای واقعی

بهره‌وری نیروی کار که در رابطه ۴ ارائه شده است، به اندازه‌گیری مقدار انرژی ستانده به دست آمده در هر واحد به انرژی نیروی کار استفاده شده می‌پردازد (Kitani, 1999).

$$(4) \quad \text{مقدار انرژی ستانده در هر واحد} \\ \text{انرژی نیروی کار} = \frac{\text{بهره‌وری نیروی کار}}{\text{انرژی نیروی کار}}$$

در نهایت شاخص انرژی خالص در رابطه ۵ مشخص شده است. این شاخص بیانگر خالص انرژی خروجی به ازای تولید یک کیلوگرم گندم می‌باشد. منفی بودن این عدد نشان دهنده آن است که به اندازه‌ای که انرژی برای تولید یک کیلوگرم گندم مصرف شده، انرژی تولید نشده است و در نتیجه در حالت منفی بودن این شاخص عدم کارایی مصرف انرژی وجود دارد.

(۵) انرژی کل نهاده-انرژی کل ستانده= انرژی خالص

میزان صرفه‌جویی در انرژی برای تعیین سطح ناکارآمدی مزارع در مصرف انرژی بصورت رابطه ۶ محاسبه می‌شود (Mousavi-Avval et al, 2011):

$$(6) \quad \text{میزان انرژی صرفه‌جویی شده هدف} \\ \text{انرژی کل نهاده واقعی} = \frac{\text{میزان}}{\text{انرژی کل نهاده واقعی}}$$

صرفه‌جویی در انرژی (٪)

این شاخص حاصل تقسیم میزان انرژی صرفه‌جویی شده هدف بر انرژی نهاده واقعی است. صرفه‌جویی انرژی بین مقادیر صفر و صد متغیر است. مقادیر بالاتر نشانگر آن است که انرژی مورد استفاده در واحد تولیدی بصورت ناکارا است.

مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)^۱

یکی از روش‌های بسیار کارآمد در زمینه ارزیابی کارایی انرژی واحدهای کشاورزی، روش تحلیل پوششی داده‌ها است (Mardani Najafabadi & Taki, 2020). در حالت کلی، روش تحلیل پوششی داده‌ها را می‌توان به دو صورت بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS) و بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS) تقسیم کرد. مدل CRS با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس، کارایی را بگونه‌ای

$$\beta_j^y(y, \gamma_j^y) = \max_{C_j^y} \left\{ \sum_{r \in S_j^y} u_r (y_{rj}^U - y_{rj}^L) + (\gamma_j^y - [\gamma_j^y]) u_{t_j^y} (y_{t_j^y}^U - y_{t_j^y}^L) \right\} \quad (11)$$

$$\beta_j^x(x, \gamma_j^x) = \max_{C_j^x} \left\{ \sum_{r \in S_j^x} u_r (x_{rj}^U - x_{rj}^L) + (\gamma_j^x - [\gamma_j^x]) u_{t_j^x} (x_{t_j^x}^U - x_{t_j^x}^L) \right\} \quad (12)$$

بنابراین رابطه ۸ ممکن است که با تاثیرات غیرخطی مواجه شود. نکته قابل توجهی که از روابط فوق بدست می‌آید این است که اگر $J_j^y = 0$ و $J_j^x = 0$ در نتیجه دو متغیر $\beta_j^y(y, \gamma_j^y)$ و $\beta_j^x(x, \gamma_j^x)$ مساوی صفر قرار گرفته و خاصیت خود را از دست می‌دهند. نتیجه این امر تساوی توابع هدف و محدودیت‌های روابط ۸ و ۷ بوده و مفهوم آن تساوی مدل‌های RDEA حالت خوشبینانه IDEA می‌باشد. به طور مشابه، اگر $J_j^y = |J_j^y|$ و $J_j^x = |J_j^x|$ آن‌گاه

$$\beta_j^y(y, \gamma_j^y) = \sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^U - y_{rj}^L)$$

حالت بدبینانه‌ترین $\beta_j^x(x, \gamma_j^x) = \sum_{r=1}^s u_r (x_{rj}^U - x_{rj}^L)$ برای نتایج مدل متصور خواهد شد. بنابراین با سطوح متفاوت γ_j^y و γ_j^x ، می‌توان یک رنج منعطف از استواری مدل REDA را در مقابل سطوح مختلف حفاظت از پاسخ‌های بهینه تجربه کرد. در نهایت، مدل RDEA را می‌توان به صورت مدل برنامه‌ریزی غیرخطی زیر ارائه کرد:

$$(13)$$

$$\text{Max } \theta_p = \sum_{r=1}^s u_r y_{rp}^U - z_p \gamma_p^y - \sum_{r=1}^s p_{rp}$$

$$\text{s.t } \sum_{i=1}^m v_i x_{ip}^L + z_p \gamma_p^x - \sum_{i=1}^m q_{ip} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^L - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^U - z_j \Gamma_j + \sum_{r=1}^s P_{rj} + \sum_{i=1}^m q_{ij} \leq 0 \quad \forall j \neq p,$$

$$z_j + p_{rj} \geq u_r (y_{rj}^U - y_{rj}^L), \quad \forall r, j$$

$$z_j + q_{ij} \geq v_i (x_{ij}^U - x_{ij}^L), \quad \forall i, j$$

$$\theta_p \leq 1,$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon, \quad \forall i, r$$

$$z_j, q_{ij}, p_{rj} \geq 0, \quad \forall i, j, r$$

برای پارامترهای Γ_j مقادیر متفاوتی وجود دارد و به این صورت محاسبه می‌شود که برای حداکثر احتمال انحراف محدودیت زام از کران خود (p_j) کافی است

برخی از نهاده‌ها و ستانده‌ها مبهم و غیردقیق هستند امکان استفاده از این روش وجود ندارد (Ohadi et al, 2018). با توجه به ابهام و عدم حتمیت در مقادیر ورودی (x_{ij}) و خروجی (y_{ij}) و با فرض در نظر گرفتن مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیرنده که J_j^x و J_j^y به ترتیب مجموعه‌های مربوط به ارزش نهاده‌ها و ستانده‌های مبهم برای این واحدها است، می‌توان به تعریف پارامترهای γ_j^y و γ_j^x پرداخت که ارزشی بین فواصل محدود $[0, J_j^y]$ و $[0, J_j^x]$ دارند (Mardani Najafabadi & Abdeshahi, 2019). نقش این پارامترها، استوارسازی مدل DEA در برابر تغییرات ناشی از شرایط عدم حتمیت در داده‌های ورودی و خروجی می‌باشد (Mardani Najafabadi et al, 2013). فرم عمومی مدل RDEA به صورت رابطه ۸ نگاشته می‌شود (Shokouhi et al, 2010).

$$\text{Max } \theta_p = \sum_{r=1}^s u_r y_{rp}^U - \beta_p^y,$$

$$\text{s.t } \sum_{i=1}^m v_i x_{ip}^L + \beta_p^x = 1,$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^L - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^U + \beta_j^y + \beta_j^x \leq 0 \quad \forall j \neq p,$$

$$\theta_p \leq 1.$$

(۸)

در رابطه ۸ دو متغیر $\beta_j^y(y, \gamma_j^y)$ و $\beta_j^x(x, \gamma_j^x)$ جهت اعمال شرایط عدم اطمینان در مدل DEA متداول تعریف شده‌اند. به عبارت دیگر این دو متغیر از محدودیت‌ها در مقابل عدم حتمیت محافظت کرده و به آنها کمک می‌کنند که به صورت امکان‌پذیر باقی بمانند. اگر متغیر C_j^x و C_j^y به ترتیب به صورت روابط ۹ و ۱۰

تعریف شوند:

$$C_j^y = \{S_j^y \cup \{t_j^y\} \mid S_j^y \subseteq J_j^y, |S_j^y| = |\gamma_j^y|, t_j^y \in J_j^y / S_j^y\} \quad (9)$$

$$C_j^x = \{S_j^x \cup \{t_j^x\} \mid S_j^x \subseteq J_j^x, |S_j^x| = |\gamma_j^x|, t_j^x \in J_j^x / S_j^x\} \quad (10)$$

از طرف دیگر اگر مقادیر ورودی و خروجی را به صورت بازه‌ای، $x_{ij} \in [x_{ij}^L, x_{ij}^U]$ و $y_{ij} \in [y_{ij}^L, y_{ij}^U]$ تعریف نمود، می‌توان دو متغیر β_j^y و β_j^x را به ترتیب به صورت روابط ۱۱ و ۱۲ نوشت:

باشند. با توجه به حجم جامعه آماری (در حدود ۱۳۲۴) یک نمونه ۱۹۲ تایی جهت بررسی انتخاب شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری و محاسبات مربوط به برآورد شاخص‌های انرژی بطور کلی در نرم افزار Excel و برآورد کارایی با استفاده از روش RDEA توسط نرم افزار تحلیل جبری GAMS انجام پذیرفت.

یافته‌ها و بحث

نتایج مربوط به مقادیر مصرف نهاده‌ها و ستانده‌ها و معادل انرژی آنها در جدول ۲ نشان داده شده است. متوسط مصرف نهاده‌ها شامل نیروی کار و ماشین آلات به ترتیب ۱۷۴ و ۴۵/۴۵ ساعت در هکتار و برای کود شیمیایی (شامل: فسفات و پتاسیم) ۱۴۳/۸۸ کیلوگرم در هکتار و بطور مشابه برای سایر نهاده‌ها ارائه شده است. همچنین، متوسط عملکرد سالانه برای دانه گندم و کاه به ترتیب ۱۷۴۴/۶۰ و ۱۷۸۵/۷۱ محاسبه شد. کل انرژی نهاده ۲۰۱۳۷/۰۶ مگاژول در هکتار بوده که بیشترین سهم آن به ترتیب مربوط به سوخت دیزل (۵۸/۱۲٪) و بذر (۱۵/۴۰٪) و ماشین آلات (۱۴/۱۵٪) می‌باشد. کل انرژی ستانده نیز ۴۷۹۶۶/۴۲ مگاژول در هکتار بدست آمد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کود حیوانی کمترین مصرف انرژی در دوره تولیدی را به خود اختصاص داده است. این نتایج بر خلاف نتایج مطالعه Ajabshirchi et al (2011) بوده که بیشترین مصرف انرژی در تولید گندم دیم را برای نهاده‌های بذر، کود و سموم شیمیایی به ترتیب با مقادیر ۶۳/۶۳ و ۵۶ و ۵۴/۰۶ بدست آوردند. همچنین در مطالعه Shahan et al (2008) بیشترین سهم مصرف انرژی مربوط به کود شیمیایی ۳۱/۱۹٪ و سوخت دیزل ۲۶/۰۹٪ در تعیین کارایی گندم در استان اردبیل محاسبه شد. بیشترین درصد مصرف انرژی در نتایج مطالعه Ghorbani et al (2011) که در خراسان شمالی برای گندم انجام پذیرفت نیز مربوط به مصرف سوخت دیزل ۴۵٪ بوده است.

که این پارامتر حداقل مساوی با معادله ۱۴ باشد (Bertsimas & Sim, 2004):

$$\Gamma_j = 1 + \phi^{-1}(1 - p_j) \sqrt{n} \quad (14)$$

که در آن ϕ ، توزیع تجمعی متغیر گاوسی استاندارد و n منابع عدم حتمیت در هر محدودیت است. برای مثال اگر $n=50$ و $p_j=0.05$ باشد این پارامتر برابر ۱۲/۵۹ خواهد بود.

جامعه آماری این مطالعه، گندم‌کاران دیم شهرستان خوی می‌باشند. داده‌های مورد نیاز با تکمیل پرسشنامه از کشاورزان با در نظر گرفتن جامعه آماری و استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده در سال ۱۳۹۸ حاصل شد. جهت تعیین حجم نمونه از مطالعه جیمز و همکاران (Bartlett, 2001) برای داده‌های پیوسته (داده-های قابل اندازه‌گیری) استفاده شد. در مطالعه آنان فرمول کوکران تعدیل شده و برای متغیرهای پیوسته و طبقه‌بندی شده به طور مجزا تعدیل شده است؛ بطوری-که ابتدا با استفاده از رابطه ۱۵ حجم نمونه اولیه محاسبه شده و پس از آن با استفاده از رابطه ۱۶ این حجم نمونه اصلاح می‌گردد.

$$n_0 = \frac{\frac{Z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{Z^2 pq}{d^2} - 1 \right)} \quad (15)$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \left(\frac{n_0 - 1}{N} \right)} \quad (16)$$

که در آن n_0 حجم نمونه اولیه، n حجم نمونه تعدیل شده، N حجم نمونه آماری، d اشتباه مجاز (معمولا ۰/۰۵)، Z مقدار متغیر نرمال با سطح اطمینان $1 - \alpha$ ، p نسبت برخورداری از صفت مورد نظر و q نسبت عدم برخورداری از صفت مورد نظر می

جدول ۲- مقادیر نهاده و ستاده و معادل انرژی آنها برای تولید گندم

درصد(%)	معادل انرژی(مگاژول بر هکتار)	مقدار(واحد بر هکتار)	نهاده-ستاده
			نهاده‌ها
۱/۹۶	۳۴۱/۰۴	۱۷۴	نیروی کار (نفر-روز)
۱۴/۱۵	۲۸۵۰	۴۵/۴۵	ماشین‌آلات (ساعت)
۵۸/۱۲	۱۱۷۰۴/۴۳	۲۰۷/۸۵	سوخت دیزل (لیتر)
			کود شیمیایی (کیلوگرم)
۴/۵	۹۰۶/۳۴	۷۲/۸۵	فسفات
۳/۹۳	۷۹۲	۷۱/۰۳	پتاسیم
۰/۸۱	۱۶۳/۳۳	۵۴۴/۴۴	کود حیوانی (کیلوگرم)
۱/۴۱	۲۸۴/۷۶	۲/۷۳	مواد شیمیایی (کیلوگرم)
۱۵/۴	۳۰۹۵/۱۶	۲۰۷/۵۵	بذر (کیلوگرم)
۱۰۰	۲۰۱۳۷/۰۶		کل انرژی نهاده (مگاژول در هکتار)
			ستاده (کیلوگرم)
۵۳/۴۷	۲۵۶۴۵	۱۷۴۴/۶۰	گندم
۴۶/۵۳	۲۲۳۲۱/۴۲	۱۷۸۵/۷۱	کاه
۱۰۰	۴۷۹۶۶/۴۲		کل انرژی ستاده (مگاژول در هکتار)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به این که کل نهاده انرژی در تولید گندم به بخش‌های انرژی مستقیم، انرژی غیر مستقیم، انرژی تجدیدپذیر و انرژی غیرقابل تجدید تقسیم شده، نتایج این شاخص‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. انرژی مستقیم و انرژی غیر مستقیم به ترتیب ۵۹/۸٪ و ۴۰/۲٪ محاسبه شدند. چنانچه مشاهده می‌شود به دلیل مصرف بیش از حد سوخت دیزل در این منطقه شاخص انرژی مستقیم در حد بالایی حاصل شد. در مطالعه مشابه (Ghorbani et al (2011) در خراسان شمالی برای تولید گندم دیم انرژی مستقیم و غیرمستقیم به ترتیب ۴۵/۷۷٪ و ۵۴/۲۳٪ و در مطالعه (Shehi et al (2008) گندم در استان اردبیل این شاخص‌ها نیز به ترتیب ۲۶/۰۵٪ و ۷۳/۲۷٪ محاسبه شدند. در این مطالعه انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر نیز به ترتیب ۱۷٪ و ۸۳٪ برآورد گردید که بیانگر وابسته بودن به مصرف بالای منابع تجدیدناپذیر یعنی سوخت دیزل و کودشیمیایی در این ناحیه است. این موضوع نه تنها ممکن است در آینده عوارض جدی و جبران ناپذیری بر سلامت انسان و مواد غذایی داشته بلکه اثرات بسیار مضر بر محیط‌زیست و از بین رفتن منابع موجود برجای خواهد گذاشت.

مقادیر شاخص‌های کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص و بهره‌وری نیروی کار برای تولیدگندم در منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ فهرست شده است. کارایی مصرف انرژی در تولیدگندم ۲/۳ محاسبه شده و این نشان دهنده آن است که کل انرژی ستاده گندم تقریباً ۲ برابر کل انرژی نهاده می‌باشد. بهره‌وری انرژی ۰/۰۸۷ کیلوگرم بر مگاژول و بهره‌وری نیروی کار ۲۷۵/۶۶ مگاژول بازای هر نفر برآورد گردیدند. نسبت کارایی مصرف انرژی برای مطالعه مشابه گندم در خراسان شمالی ۳/۳۸ و بهره‌وری انرژی ۰/۱۱ کیلوگرم بر مگاژول بدست آمد (Ghorbani et al (2011). در این مطالعه بهره‌وری انرژی معادل ۰/۰۸۹ بیان کننده این است که در ازای هر واحد انرژی مصرفی ۰/۰۸۹ واحد انرژی حاصل شده است. انرژی ویژه و انرژی خالص نیز به ترتیب ۱۱/۵ و ۲۷۸۲۹/۳۶ مگاژول بر هکتار برآورد شدند. انرژی ویژه نشان می‌دهد که چه مقدار انرژی برای تولید یک محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص برای گندم در خراسان شمالی ۸/۹۶ بدست آمد (Ghorbani et al (2011). بهره‌وری نیروی کار در این مطالعه ۲۷۵/۶۶ مگاژول بر هکتار بدست آمد که نشان دهنده این امر است که خدمات نیروی کار در هر هکتار ۲۷۵/۶۶ بوده است.

جدول ۳- میانگین مقادیر شاخص‌های انرژی

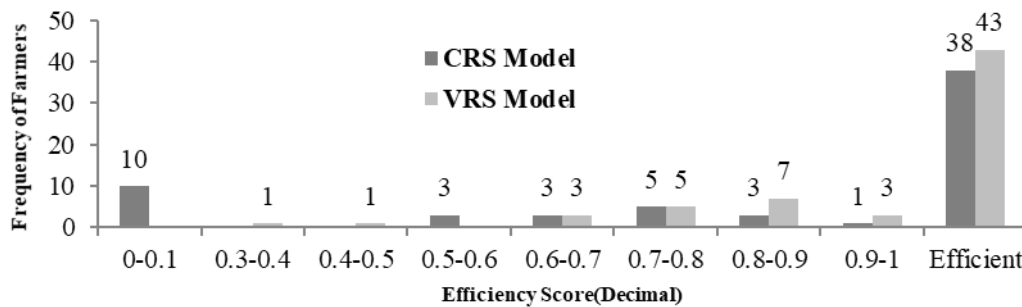
مقدار	واحد	شاخص	مقدار	واحد	شاخص
۲۰۱۳۷/۰۶	مگاژول بر هکتار	کل انرژی نهاده	۲۷۵/۶۶	مگاژول بر هکتار	بهره‌وری نیروی کار
۱۲۰۴۵/۴۷ (/۵۹/۸)	مگاژول بر هکتار	انرژی مستقیم	۲/۳۱	-	کارایی انرژی
۸۰۹۱/۵۹ (/۴۰/۲)	مگاژول بر هکتار	انرژی غیرمستقیم	۰/۰۸۷	کیلوگرم بر مگاژول	بهره‌وری انرژی
۳۴۳۶/۲ (/۱۷)	مگاژول بر هکتار	انرژی تجدیدپذیر	۱۱/۵	مگاژول بر هکتار	انرژی ویژه
۱۶۷۰۰/۸۶ (/۸۳)	مگاژول بر هکتار	انرژی تجدیدناپذیر	۲۷۸۲۹/۳۶	مگاژول بر هکتار	انرژی خالص

مأخذ: یافته‌های تحقیق

امتیازات کارایی

نتایج بدست آمده در این مطالعه برای پارامتر کنترل کننده در سطح ۷ ($T=7$) که به‌عنوان نمونه‌ای از سطوح محافظه‌کاری بوده، برای مدل CRS و VRS با رویکرد نهاده‌گرا در نمودار ۱ نشان داده شده است. با توجه به میزان مصرف نهاده‌ها در این منطقه تعداد ۳۸ کشاورز گندمکار (۶۰٪) در مدل CRS و تعداد ۴۳ کشاورز

(۶۸٪) در مدل VRS از کارایی کامل برخوردار بوده بدین معنا که اکثریت مزارع در منطقه مورد مطالعه از کارایی لازم برخوردار هستند. آشکار است که در سطح کمتر از ۰/۶ در مدل CRS تعداد ۱۳ کشاورز و در مدل VRS تنها دو کشاورز ناکارا عمل کردند.



نمودار ۱. توزیع کارایی کشاورزان

جدول ۴- انواع کارایی کشاورزان

انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانگین	انواع کارایی
۰/۳	۰/۰۰۵	۱	۰/۷	کارایی فنی
۰/۱	۰/۳	۱	۰/۹	کارایی فنی خالص
۰/۳	۰/۰۰۷	۱	۰/۸	کارایی مقیاس

مأخذ: یافته‌های تحقیق

خلاصه آماری تخمین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس مربوط به سطح ۷ محافظه‌کاری در جدول ۴ نشان داده شده است. مقادیر برآورد شده بصورت میانگین برای کارایی فنی، خالص و مقیاس به ترتیب ۰/۷ ، ۰/۹ ، ۰/۸ محاسبه شدند. کارایی فنی بین دامنه بین (۰/۰۰۵ - ۱) به این معنی خواهد بود که کشاورزان گندم کار از روش‌های نوین تولیدی آگاهی کافی را نداشته و یا اینکه بکارگیری آنها در زمان مناسب صورت نمی‌گیرد.

در مدل CRS سطح محافظه‌کاری تعیین شده کود حیوانی کمترین درصد صرفه جویی برابر با ۱۸٪ را داشته که بیانگر استفاده مفید از این نهاده است. در مدل CRS، سوخت مصرفی با ۶۴/۸٪ و در مدل VRS بذری با ۱۵/۸٪ بیشترین درصد صرفه‌جویی را به خود اختصاص دادند که بیانگر استفاده ناکارا از این ورودی در منطقه مورد مطالعه است.

مقادیر مصرف نهاده‌ها در طول چرخه تولیدی توسط کشاورز و مقادیر بهینه تعیین شده با سطح محافظه‌کاری ۷ (مقادیر هدف) در جدول ۵ نشان داده شده است. مقایسه مقادیر بهینه تعیین شده در مدل CRS با میزان نهاده‌ای که کشاورز مورد استفاده قرار می‌دهد بیان کننده آن است که مصرف انرژی توسط کشاورز بیش از مقادیر مورد نیاز در چرخه تولیدی است.

جدول ۵- مقادیر انرژی مصرفی واقعی و بهینه

نهاده‌ها	CRS		VRS	
	میانگین مقادیر مصرفی واقعی	میانگین مقادیر بهینه	میانگین مقادیر مصرفی واقعی	میانگین مقادیر مصرفی بهینه
نیروی کار (نفر-روز)	۳۴۱/۰۴	۱۴۳/۱	۳۴۱/۰۴	۵۸
ماشین‌آلات (ساعت)	۲۸۵۰	۱۲۰۸/۴	۲۸۵۰	۵۷/۶
سوخت دیزل (لیتر)	۱۱۷۰۴/۴۳	۴۱۱۴/۴	۱۱۷۰۴/۴۳	۶۴/۸
کود شیمیایی (کیلوگرم)	۱۶۹۸/۳۴	۶۹۸/۰۴	۱۶۹۸/۳۴	۵۹/۴
کود حیوانی (کیلوگرم)	۱۶۳/۳۳	۱۳۳/۸۷	۱۶۳/۳۳	۱۸
مواد شیمیایی (کیلوگرم)	۲۸۴/۷۶	۱۰۳/۶	۲۸۴/۷۶	۶۳/۶۱
بذر (کیلوگرم)	۳۰۹۵/۱۶	۱۱۱۶/۸	۳۰۹۵/۱۶	۶۳/۹۱
کل انرژی نهاده (مگاژول در هکتار)	۲۰۱۳۷/۰۶	۸۵۶۵/۳	۲۰۱۳۷/۰۶	۵۷/۳۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بهبود شاخص‌های انرژی

شاخص‌ها در این سطح میزان بهینه نشان داده شده است. در نهایت انرژی نهاده برای CRS به ۸۵۶۵/۳ مگاژول کاهش یافته که میزان تغییرات ۵۷٪- محاسبه شد. این امر نشان دهنده این است که کشاورزان ناکارا عمدتاً دانش کافی در استفاده کارا از منابع موجود را نداشته و به دنبال افزایش بکارگیری نهاده‌ها برای افزایش تولید می‌باشند.

بهبود شاخص‌های انرژی برای تولید گندم در جدول ۶ نشان داده شده است. کارایی انرژی محاسبه شده با توجه به مصرف انرژی کشاورزان ۲/۳ محاسبه شد ولی با ارائه مدل CRS و در سطح ۷ محافظه‌کاری این مقدار به ۵/۶ افزایش یافته که بیانگر ۱۴۳ درصد بهبود در این شاخص می‌باشد. بطور مشابه برای مدل VRS این شاخص به ۲/۵ ارتقاء یافته است. همچنین، برای سایر

که این خود خطر جدی بر سلامت انسان و آلودگی محیط زیست به همراه دارد. مطابق نتایج جدول ۵، مقادیر انرژی مصرفی واقعی برای تمامی نهاده‌ها بیشتر از مقادیر بهینه است که حاکی از استفاده ناکارای انرژی در منطقه مورد مطالعه است به عنوان مثال در سطح محافظه‌کاری γ ($\Gamma=7$) در مدل CRS می‌توان $57/3\%$ از کل مصرف انرژی و $64/8\%$ از مصرف سوخت را کاهش داد که این نشان از ناکارآمدی کشاورزان است. بنابراین در منطقه مورد نظر استفاده از ادوات مکانیزه جهت کاهش مصرف سوخت و کاهش بکارگیری نیروی کار جهت خرمن کوبی پیشنهاد می‌شود.

طبق یافته‌های جدول ۴ میانگین کارایی فنی، خالص و مقیاس به ترتیب $0/7$ ، $0/9$ ، $0/8$ برآورد گردید. بدین معنا که در یک فناوری ثابت و بدون کاهش تولید، می‌توان با کاهش مصرف نهاده‌ها به مرز کارایی تولید دست یافت. در این راستا، برگزاری کلاس‌های ترویجی جهت یادگیری مفاهیم اقتصادی، روش‌های نوین تولیدی و چگونگی استفاده از تکنولوژی‌های مناسب و پیشرفته در جهت بهبود توان مدیریتی کشاورزان توصیه می‌گردد.

با توجه به پایین بودن کارایی فنی، عدم کارایی مقیاس و نابهینه بودن مصرف انرژی نهاده‌ها در میان گندم‌کاران دیم منطقه مورد تحقیق، پیشنهاد می‌شود واحدهای کارا شناسایی و به عنوان واحد مرجع برای واحدهای ناکارای جهت الگوبرداری از این واحدها، تدوین برنامه منظم سالیانه مصرف بهینه نهاده‌ها توسط کشاورزان و در نتیجه بهبود پایداری عملیات کشاورزی در راستای اهداف توسعه پایدار، مورد استفاده قرار گیرند.

REFERENCES

1. Abdeshahi, A., Mardani Najafabadi, M. & Zeinali, M. (2020). Determining the Optimal Cropping Pattern of Agricultural Crops in Mollasani County of Iran: Application of Robust Multi-Objective Optimization Model. *Agricultural Economics and Development*. 28(111),175-203. (In Farsi)
2. Ahmad Z. & Jun M. (2015). Agricultural Production Structure Adjustment Scheme Evaluation and Selection Based on DEA Model for Punjab (Pakistan). *Journal of Northeast Agricultural University (English Edition)*. 22:87-91.
3. Ajabshirchi, Y., Taki, M., Abdi, R., Ghobadifar, A. & Ranjbar, I. (2011). Investigation of Energy Use Efficiency for Dry Wheat Production Using Data Envelopment Analysis (DEA) Approach; Case Study: Silakhor Plain. *Journal of Agricultural Machinery*. 1(2),122-132. (In Farsi)
4. Bartlett J.E., Kotrlík J.W. and Higgins C.C. (2001). Organizational Research: Determining Appropriate Sample Size in Survey Research. *Information Technology, Learning, and Performance Journal*. 19,43-50.

جدول ۶- بهبود شاخص‌های انرژی در مدل CRS و VRS

شاخص	مقادیر واقعی		CRS		VRS	
	مقادیر	تغییر(%)	مقادیر	تغییر(%)	مقادیر	تغییر(%)
کارایی انرژی بهره‌وری	۲/۳	۵/۶	+۱۴۳	۲/۵	+۸	
انرژی ویژه	۰/۰۸۷	۰/۲	+۱۳۰	۰/۰۹	+۳	
انرژی خالص بهره‌وری	۱۱/۵	۴/۹	-۵۷	۱۰/۷۳	-۷	
انرژی خالص بهره‌وری	۲۷۸۲۹/۳۶	۳۹۴۰۱/۱۲	+۴۲	۲۹۲۳۹/۹۵	+۵	
انرژی خالص بهره‌وری	۲۷۵/۶۶	۶۵۶/۹	+۱۳۸	۲۸۳/۹	+۳	
انرژی خالص بهره‌وری	۲۰۱۳۷/۰۶	۸۵۶۵/۳	-۵۷	۱۸۷۲۶/۴۷	-۷	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ارزیابی عملکرد در بسیاری فعالیت‌ها با استفاده از روش‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها نیاز به نهاده و ستانده دقیق و مشخصی دارند. اما در دنیای واقعی اغلب داده‌ها مبهم و نامشخص هستند. بنابراین در مطالعه حاضر از روش بهینه‌سازی غیر خطی با پارامترهای کنترل‌کننده برای مقابله با داده‌های غیر دقیق استفاده شد. در این مطالعه الگوی مصرف انرژی برای تولید گندم دیم در شهرستان خوی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تولید گندم دیم در شهرستان خوی بطور عمده وابسته به منابع غیرقابل تجدید ($0/83$) بوده

5. Bertsimas D. and Sim M. 2004. The price of robustness. *Operations Research*. 52, 35–53.
6. Despotis, D.K., Maragos E.K. and Smirlis Y.G. 2006. Data Envelopment Analysis with Missing Values: An Interval DEA Approach. *European Journal of Operational Research*. 140, 24–36.
7. Fathi, R., Amjadpor, F., Kouchakzadeh, A. and Azizpanah, A. (2018). The pattern and efficiency of energy use for wheat production by data envelopment analysis, case study: Chardavol Township, Ilam Province. *Journal of Dryland Agricultural*. 7(1), 33-46. (In Farsi)
8. Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M. & Aghel, H. (2011). A Case study of Energy Use and Economical Analysis of Irrigated and Dryland Wheat Production Systems. *Applied Energy*. 88(1), 283-288. (In Farsi)
9. Hormozi, M. A., Asoodar, M. A., Abdeshahi, A., & Baruah, D. C. (2013). The Role of Water Pumping in Energy Efficiency of Rice Cropping Systems in Khuzestan Province, Iran. *International Journal of Agriculture*. 3(1), 96 (In Farsi) .
10. Khan M.A., Singh G. (1996). Energy Inputs and Crop Production in Western Pakistan. *Energy*. 21, 45–53.
11. Khan M.A., Ahmad S., Hussain Z., Yasin M., Aslam M. & Majid R. (2004). Efficiency of Water and Energy Use for Production of Organic Wheat. *Journal of Science, Technology and Development*, 24, 25–29 .
12. Kitani, O. (1999). CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. V, Energy and Biomass Engineering, ASAE Publication, ST Joseph.
13. Kordoni, F., Jamialahmadi, M. & Bakhshi, M.R. 2018. Economic analysis of energy use in cereal production of IRAN (Case study: wheat, barley, corn, rice). *Journal of Agricultural Economics Research*. 10(37), 133-148. (In Farsi).
14. Maleki, A., Yousefi, F. & Norouzi, M. (2013). Evaluation of Energy Efficiency and Analysis of Energy Consumption and Production of Wheat in Ilam Province. In: *First National Conference on Sustainable Agricultural Development and Healthy Environment, Hamedan, Iran, 26 February 2013*, 1-10. (In Farsi)
15. Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M. & Bandyopadhyay, K. K. 2002. Bioenergy and Economic Analysis of Soybean-Based Crop Production Systems in Central India. *Biomass and Bioenergy*. 23(5), 337-345 .
16. Mardani Najafabadi, M., Sargazi, A. and Sabouhi, M. (2013). Determination of the Efficiency of Sistan wheat Farms Using Incorporation Optimization Model with Degree of Conservatism Control Parameters and Data Envelopment Analysis (RDEA). *Journal of Agricultural Economics and Development*. 27(3), 180-187. (In Farsi)
17. Mardani Najafabadi, M. & Salarpour, M. (2015). Measuring Technical Efficiency of Potato Production in Iran Using Robust Data Envelopment Analysis. *Information Processing in Agriculture*. 2(1), 6-14. (In Farsi)
18. Mardani Najafabadi, M. and Abdeshahi, A. (2019). Evaluating Uncertainty of Palm Trees Efficiency in Ahvaz County: Application of Robust Data Envelopment Analysis Approach and Monte Carlo Simulation. *Journal of Agricultural Economics and Development*. 33(2), 191-204 (In Farsi).
19. Mardani Najafabadi, M., Abdeshahi, A., Ghorbani, M. R. & Zebari, Y. (2019). Evaluating the Ability of Interval Fuzzy and Robust Data Envelopment Analysis Models to determine the efficiency of Broiler Chicken Breeding Units in Khuzestan Province. *Agricultural Economics*. 13(3), 29-56. (In Farsi)
20. Mardani Najafabadi, M., Abdeshahi, A., Forouzani, M. and Zeinali, M. (2019). Determining the Efficiency of Great Karun Irrigation and Drainage Networks Using Data Envelopment Analysis Method with Conservatism Control Parameters. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*. 20(76), 37-56. (In Farsi)
21. Mardani Najafabadi, M. and Taki, M. (2020). Robust data envelopment analysis with Monte Carlo simulation model for optimization the energy consumption in agriculture. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-15. (In Farsi)
22. Mardani Najafabadi, M., Mirzaei, A. & Ohadi, N. (2021). Investigating the Rice Energy Efficiency Using Interval Fuzzy Data Envelopment Analysis Model (Case Study: Rice Farmers in Golestan Province). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*. 2-51(4), 661-677. (In Farsi)
23. Ministry of Agriculture Jihad. (2019). Agricultural Statistics of West Azerbaijan Province .
24. Molaei, K., Keyhani, A., Karimi, M., Kheiralipour, K. & Ghasemi. (2009). Energy Ratio in Dryland Wheat - Case Study: Eghlid Township. *Journal of Biosystem Engineering*. 39(1), 13-19. . (In Farsi)
25. 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 .

26. Ohadi, N., Akbari, A & Shahraki, J. (2015). Data envelopment analysis method usage for efficiency determination of pistachio growers in Sirjan. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*. 46(1), 51-60.. (In Farsi)
27. Ohadi, N., Shahraki, J., Pahlavani, M. & Mardani Najafabadi, M. (2018). Energy-environmental efficiency and effective factors in oil-rich countries. *The Journal of Planning and Budgeting*. 23(1), 79-96 .(In Farsi)
28. Ohadi, N., Shahraki, J., Pahlavani, M. & Mardani Najafabadi, M. (2019). Evaluating and Ranking of Environmental Efficiency of Oil-Rich Countries. *Economic Development Policy*. 6(2), 124-146 .(In Farsi)
29. Pervanchon, F., Bockstaller, C. & Girardin, P. (2002). Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agricultural systems*, 72(2), 149-172.
30. Safa, M. & Tabatabaeefar., A. (2002). Energy Consumption in Wheat Production in Irrigated and dry land Farming. *In Proc. Intl. Agric. Engg. Conf., Wuxi, China*. 28-30. (In Farsi)
31. Shahan, S., Jafari, A., Mobli, H., Rafiee, S. & Karimi, M. (2008). Energy use and Economical Analysis of Wheat Production in Iran: A Case Study from Ardabil Province. *Journal of Agricultural Technology*, 4(1), 77-88. (In Farsi)
32. Shokouhi, A. H., Hatami-Marbini, A., Tavana, M. & Saati, S. (2010). A Robust Optimization Approach for Imprecise Data Envelopment Analysis. *Computers & Industrial Engineering*. 59(3), 387-397.
33. Singh, S., Verma S.R. & Mittal, J.P. (1997). Energy Requirements for Production of Major Crops in India. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America*, 28: 13-27
34. Taleghani, A. (2011). Evaluation of Efficiency Irrigated Wheat Farming in Khorasan-Razavi Province. *Journal of Research in Crop Sciences*. 4, 51-63.(In Farsi).
35. Yazdani, S., Taheri Rikande, A., Mohamadian, F. & Norouzi, H. (2017). Diversity of activity, A Strategy to Promote Energy Productivity in Agriculture (Causality analytical approaches Toda - Yamamoto and Bounds test). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*. 48(4), 547-729. (In Farsi)