DOI: https://dx.doi.org/10.22034/jam.2021.14202

مدل‌سازی الگوی مصرف انرژی و تحلیل حساسیت نهاده‌ها در تولید گندم آبی، مطالعه موردی: استان اردبیل

جبرائیل تقی نژاد [۱*] و عادل واحدی [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۸

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

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

*مسئول مکاتبه: Taghinazhad55@gmail.com

چکیده

این تحقیق برای بررسی الگوی مصرف انرژی و تحلیل حساسیت نهاده‌ها در تولید گندم آبی استان اردبیل انجام گرفت. جامعه آماری شامل ۱۰۰ کشاورز آبی کار محصول گندم بود که بر اساس نمونه‌های تصادفی انتخاب شدند. حساسیت نهاده‌های انرژی به کمک تابع تولید کاب داگلاس و با استفاده از روش بهره‌وری فیزیکی نهایی (MPP) و ضرایب رگرسیون با مشتقات جزئی بر عملکرد گندم برآورد شد. نتایج نشان داد کل انرژی ورودی و خروجی به‌ترتیب $MJ\ ha^{-1}$ ۳۸۷۵۵/۳۴ و ۶۵۰۱۶/۰۷ بوده و در بین نهاده‌های ورودی انرژی کود نیتروژن و سوخت دیزل به‌ترتیب با ۳۷/۳۸٪ و ۱۹/۰۳٪ بیشترین سهم را داشتند. بهره‌وری انرژی برابر با $kg\ MJ^{-1}$ ۰/۱۱۶ ، کارایی انرژی و نرخ بازگشت به مقیاس نیز به‌ترتیب ۱/۶۷ و ۰/۶۰۸ برآورد گردید. تحلیل حساسیت نشان داد مقدار MPP بین ۰/۲۳- تا ۱/۸۰۹ متغیر بود. در این میان ماشین‌های کشاورزی بیشترین مقدار MPP و پس‌ازآن سموم شیمیایی، کود شیمایی و الکتریسیته به ترتیب با ۰/۳۴، ۰/۰۷ و ۰/۰۲۳ قرار داشتند که نشان‌دهنده استفاده بیشتر از این نهاده‌ها در تولید گندم است که سبب آلودگی منابع طبیعی و غیر ارگانیک شدن محصولات کشاورزی مانند گندم می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تابع کاب داگلاس، تحلیل حساسیت، جریان انرژی، گندم آبی

Energy Consumption Modeling and Sensitivity Analysis of Energy Inputs for Irrigated Wheat Production; Case Study: Ardabil Province

Jabraeil Taghinazhad[1*] and Adel Vahedi [2]

Received: 2 July 2021 Accepted: 29 Nov 2021

1- Department of Agricultural Engineering Research, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran

2- Department of Agricultural Engineering Research, AREEO, Karaj, Iran

*Corresponding author: Taghinazhad55@gmail.com

Abstract

This study was carried out to evaluate the energy consumption pattern and analysis of economic indices to determine the input sensitivity for wheat the production system in Ardabil, Iran. Data were collected from 100 irrigated wheat farms selected during 2017-2018 using a random sampling method. The sensitivity of the energy inputs was estimated using the marginal physical productivity (MPP) method and partial regression coefficients on wheat yield. The results indicated that the total energy input was 38755.34 MJ ha^{-1}, of which approximately 37.38% and 19.04% were from nitrogen fertilizers and diesel fuel, respectively. Approximately, 39.85% of the total energy inputs consumed in wheat production was direct energy, while the remaining 60.07% was indirect. The econometric assessment results revealed that the energy inputs from machinery had a significant influence on the yield. Sensitivity analysis indicated that the MPP value for energy inputs was between -0.23 and 1.67. Also, the MPP value for was the highest, followed by machinery, diesel fuel, chemical fertilizers and chemical sprays energy inputs, respectively.

Keywords: Cobb–douglas Production function, Energy consumption pattern, Sensitivity analysis, Wheat yield

How to cite:

Taghinazhad, J., Vahedi A. 2022. Energy Consumption Modeling and Sensitivity Analysis of Energy Inputs for Irrigated Wheat Production; Case Study: Ardabil Province *Journal of* Machination Agriculture 6 (4):11-19.

۱-مقدمه

برای تولید محصولات کشاورزی، از نهاده‌های مختلفی همچون بذر، کود و سموم شیمیایی در کنار دیگر موارد مصرفی در مکانیزاسیون مانند ماشین‌ها، تجهیزات و سوخت استفاده می‌شود. در پژوهشی گزارش کردند که بهینه‌سازی مصرف این نهاده‌ها یکی از اهداف مهم تولید پایدار می‌باشد. این بهینه‌سازی غیر از منظر بهره‌وری اقتصادی، ازنظر حفظ منابع طبیعی و کاهش اثرات زیست‌محیطی نیز ضروری می‌باشد (Davani & Hasanzade, 2010). بر اساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۹۶-۹۵ سطح برداشت گندم آبی در کشور ۷/۶۵ میلیون هکتار بود که معادل ۶۹/۵۵٪ کل سطح کشت کشور است از این میزان ۴۴/۶ درصد مربوط به کشت آبی و بقیه کشت دیم بود. استان کردستان با دارا بودن ۱۰/۲۵٪ از کل سطح برداشت گندم آبی، بیشترین سطح را در کشور به خود، اختصاص داده است. پس از آن استان‌های آذربایجان‌شرقی با ۷/۷۵، گلستان با ۶/۹۸، خوزستان با ۶/۸۹، کرمانشاه با ۶/۸۳، آذربایجان‌غربی با ۶/۴۵ و اردبیل با ۶/۳۶ درصد از کل اراضی گندم آبی کشور مقام‌های دوم تا هفتم را به خود اختصاص داده‌اند. به‌عبارت‌دیگر بیش از نیمی (۵۱/۵۱ درصد) از اراضی گندم آبی در این هفت استان برداشت شده است (Anonymous, 2016). کشاورزی به انرژی به‌ویژه انرژی فسیلی وابسته است محدودیت زمین‌های زراعی، افزایش جمعیت، تغییر در زیرساخت‌ها و تمایل به استانداردهای بالای زندگی عواملی هستند که مصرف انرژی در بخش کشاورزی را افزایش داده‌اند. در طی دو دهه اخیر در ایران تولید محصولات مزرعه‌ای از ۳۸/۲۶ میلیون تن در سال ۱۹۸۶ به ۷۱/۲۶ میلیون تن در سال ۲۰۰۶ رسیده که بیش‌تر روی کشت محصولات دانه‌ای متمرکزشده است، مخصوصاً گندم و جو که ۶۵٪ کل سطح زراعی را در کشور به خود اختصاص داده‌اند (Ghorbani *et al.*, 2011). از سوی دیگر انرژی فسیلی فراوان موجب شده است که تأمین غذای جمعیت رو به گسترش ممکن شود. جمعیت افزایش‌یافته ولی منبع‌های انرژی به‌ویژه انرژی فسیلی در حال کاهش است بنابراین جوامع نیازمند برنامه‌ریزی‌های اساسی در قبال مدیریت مصرف انرژی هستند (Kocheki, 1994). استفاده مؤثر از انرژی در کشاورزی مشکل‌های محیط زیستی را کاهش می‌دهد و از تخریب منبع‌های طبیعی جلوگیری کرده و کشاورزی پایدار را به‌عنوان یک سامانه تولیدی اقتصادی توسعه می‌دهد (Rafiee *et al.*, 2010). پژوهش‌های (Darlington, 1994) نشان داده است که با رشد مکانیزاسیون و استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی، کارایی (نسبت) انرژی به تدریج کاهش می‌یابد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که کل نهاده انرژی از ۱۱۱/۵۰ مگا ژول در سال ۱۳۵۰ به ۳۷۸/۱۵ مگا ژول در سال ۱۳۸۰ و انرژی ستانده از ۱۲۲/۳۹ به ۳۸۴/۶۰ مگا ژول افزایش‌یافته است که نشان‌دهنده این واقعیت است که روند مصرف نهاده‌ها در تولیدهای کشاورزی ایران با تولیدهای نهایی همراه نیست. به‌طوری‌که ناکارآمدی مصرف انرژی می‌تواند برخی مسئله‌های محیط زیستی مثل انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش دمای زمین و ناپایداری را ایجاد کند (Zoghipour & Torkamani, 2004). بنابراین تجزیه و تحلیل انرژی‌های ورودی و خروجی در سیستم‌های تولید به‌منظور طراحی الگوهای کشت و سیاست‌گذاری در بخش فروش محصولات کشاورزی، بدون بررسی کارایی و بهره‌وری مصارف انرژی به‌صورت عملی امکان‌پذیر نیست. کتین و واردر (Cetina & Vardar, 2008) روابط انرژی در تولید کشاورزی به‌خوبی با تکنیک‌های تولید، میزان نهاده‌ها، سطح عملکرد و عوامل محیطی مرتبط است. امروزه انرژی واردشده در واحد سطح برای تولید محصول فزونی یافته است و از عوامل اصلی در افزایش مصارف انرژی می‌توان به افزایش جمعیت، محدودیت زمین‌های قابل‌کشت، ارزان بودن ساخت و کود و افزایش سطح زندگی و توقعات بشر اشاره کرد. کندی (Kennedy, 2001) بر اساس اصول و مبانی اقتصادی، استفاده بهینه از نهاده‌ها از عوامل مؤثر در دستیابی تولیدکنندگان به تولید کارا و حداکثر سود است. کودهای شیمیایی از اواسط قرن بیستم به‌صورت گسترده در تولید محصولات کشاورزی استفاده شده‌اند و در افزایش عملکرد تولید محصولات زراعی و باغی نقش بسزایی داشته‌اند. مصارف کودهای شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی گرچه سبب افزایش عملکرد و ارتقاء کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود ولی به دنبال خود آثار مخربی را به همراه داشته است که نمی‌توان آن‌ها را نادیده گرفت. محققان انرژی مصرفی تولید پنبه در استان گلستان را مورد مطالعه قراردادند آن‌ها اطلاعات موردنیاز را از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۱۹ پنبه‌کار گلستانی جمع‌آوری نمودند. نتایج نشان داد که مجموع انرژی ورودی برای تولید پنبه در استان گلستان 28838 مگاژول بر هکتار بود. سوخت دیزل و ماشین‌های کشاورزی به ترتیب با ۴۵/۶ و ۱۵/۹درصد، پرمصرف‌ترین نهاده‌های انرژی در تولید گزارش شدند. کارایی انرژی ۱/۵۸ بود. آن‌ها با به‌کارگیری تابع کاب داگلاس نشان دادند که تأثیر نهاده‌های نیروی انسانی، سوخت دیزل، آب آبیاری، کودهای شیمیایی و کود حیوانی بر روی عملکرد مثبت و تأثیر نهاده‌های بذر، ماشین‌های کشاورزی و مواد شیمیایی بر عملکرد پنبه منفی بود. نتایج تحلیل حساسیت ورودی‌های انرژی نشان داد با افزایش یک مگا ژول انرژی نهاده‌های بذر و نیروی انسانی عملکرد به ترتیب به میزان ۰/۲۹ و ۰/۲۲ کیلوگرم افزایش می‌یابد (Taheri-Rad *et al.*, 2015). در بررسی حساسیت و مدل‌سازی مصرف انرژی انار از تابع کاب داگلاس استفاده کردند آن‌ها گزارش کردند که تأثیر نهاده‌های نیروی انسانی، سموم، کودهای شیمیایی و الکتریسیته بر روی عملکرد مثبت بود (Esmailpour *et al.*, 2018). هدف از این مطالعه، تعیین شاخص‌های انرژی، اقتصادسنجی و تحلیل حساسیت نهاده‌های انرژی و همچنین بررسی رابطه میان نهاده‌های انرژی و عملکرد با استفاده از تابع تولید کاب داگلاس و ارائه پیشنهادها و راهکارهای مناسب برای استفاده بهتر از انرژی و نهاده‌ها در تولید گندم آبی استان اردبیل است.

۲- مواد روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در شهرستان‌های استان اردبیل انجام شد. با توجه به این‌که مزارع مناطق مورد بررسی در نواحی متفاوتی از لحاظ گرمسیری و سردسیری مختلف قرار دارند، برای اینکه داده‌های جمع‌آوری شده نماینده واقعی‌تری برای کل مناطق باشند، سعی شد از نواحی در پژوهش استفاده شود. جامعه آماری شامل ۱۰۰ کشاورز آبی کار محصول گندم استان بر اساس نمونه‌های تصادفی انتخاب شدند. داده‌ها از طریق طراحی و تکمیل پرسشنامه و مصاحبه با کشاورزان و بررسی اسنادی و کتابخانه‌ای جمع‌آوری شدند. پس از جمع‌آوری داده‌ها انرژی حاصل از هر ورودی و خروجی از هم‌ارز انرژی که بیان‌کننده میزان محتوای انرژی نهاده یا ستادِه است استفاده شد (جدول ۱). در این پژوهش برای محاسبه مؤلفه‌های مختلف انرژی از روابط (۳-۱) استفاده گردید (Mousavi-Avval *et al* ., 2011 ;Almasi, *et al.*, 2008).

$$\text{Energy use Efficincy} = \frac{\text{Energy outpout } (MJha^{-1})}{\text{Energy input } (MJha^{-1})} \quad (۱)$$

$$\text{Energy Productivy} = \frac{\text{Wheat yield}\,(kgha^{-1})}{\text{Energy input}\,(MJha^{-1})} \quad (۲)$$

$$\text{Net Energy} = \text{Energy output } (MJha^{-1}) - \text{Energy input } (MJha^{-1}) \quad (۳)$$

مدل‌سازی انرژی

در این مطالعه برای تعیین رابطه بین انرژی ورودی و عملکرد از تابع تولید کاب-داگلاس به دلیل ساده بودن، سازگاری با منطق فیزیکی و قدرت تعمیم دهی آن استفاده شد (Royan, *et al.*, 2012). شکل کلی این تابع طبق رابطه ۴ نشان داده است.

$$\ln Y_i = a + \sum_{j=1}^{n} a_j \ln(X_{ij}) + e_i\,,\ \ i = 1, 2, \ldots, n \quad (۵)$$

که در آن، Y_i: عملکرد گندم آبی مزرعهi ام ،X_{ij}: نهاده‌های مورداستفاده در تولید،a_j: ضریب رگرسیونی نهاده‌ها، e_i: ضریب خطا و a: ضریب ثابت در این مطالعه هشت نهاده وجود داشت که طبق رابطه ۶ به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\ln Y_i = a_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 + \alpha_3 \ln X_3 + \alpha_4 \ln X_4 + \alpha_5 \ln X_5 + \alpha_6 \ln X_6 + \alpha_7 \ln X_7 + \alpha_8 \ln X_8 + e_i \quad (۶)$$

که در آن: X_1 :انرژی نیروی انسانی، X_2 : انرژی ماشین‌ها،X_3: انرژی سوخت، X_4: انرژی سموم شیمیایی،X_5 : انرژی کودهای شیمیایی، X_6: انرژی بذر، X_7: انرژی آب آبیاری و X_8 : انرژی الکتریسیته است.

برای بررسی روابط انرژی‌های مستقیم (DE)، غیرمستقیم (IDE)، تجدیدپذیر (RE) و تجدید ناپذیر (NRE) بر عملکرد به‌ترتیب از روابط ۷ و ۸ استفاده شد. انرژی‌های مستقیم شامل انرژی نیروی انسانی، سوخت، آب و الکتریسیته، انرژی‌های غیرمستقیم شامل انرژی کودهای شیمیایی و دامی، سموم شیمیایی ماشین‌های کشاورزی، انرژی‌های تجدید پذیر شامل انرژی نیروی انسانی،کود حیوانی و آب است و در نهایت انرژی‌های تجدید ناپذیر شامل انرژی سوخت، ماشین‌های کشاورزی، کودها و سموم شیمیایی و الکتریسیته هستند.

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln DE + \beta_2 \ln IDE + e_i \quad (۷)$$

$$\ln Y_i = \gamma_0 + \gamma_1 \ln RE + \gamma_2 \ln NRE + e_i \quad (۸)$$

که در آن: Y_i: محصول مزرعهiام، RE: انرژی تجدیدپذیر، γ_i , β_i: ضرایب رگرسیونی نهاده‌ها، NRE: انرژی تجدید ناپذیر، DE: انرژی مستقیم و IDE: انرژی غیرمستقیم است.

به‌منظور تحلیل میزان تغییر در خروجی با توجه به میزان تغییر در ورودی‌ها از شاخص بازدهی به مقیاس استفاده شده است. این شاخص از طریق جمع‌کردن ضرایب رگرسیون انرژی نهاده‌ها برای هریک از معادلات رگرسیونی ذکرشده به‌دست می‌آید. در صورتی‌که مجموع این ضرایب بزرگ‌تر از یک باشد، بازدهی به مقیاس فزاینده، در صورتی‌که کوچک‌تر از یک باشد، بازدهی به مقیاس کاهنده و در صورتی‌که برابر با یک باشد، بازدهی به مقیاس ثابت خواهد بود (Singh, 2004). بازده نسبت به مقیاس افزایشی، ثابت یا کاهشی نشان می‌دهد که زمانی که همه نهاده‌ها باهم به مقدار α درصد افزایش یابد، تولید گندم به ترتیب بیش از، معادل یا کمتر از α درصد تغییر یافته است.

تحلیل حساسیت

بهره‌وری نهایی یک نهاده عبارت است از تغییر در مقدار عملکرد محصول بر اثر کاربرد یک واحد اضافی از آن نهاده در صورتی که بقیه نهاده‌ها ثابت باشند. در این پژوهش از بهره‌وری فیزیکی نهایی (MPP) بر اساس پاسخ ضرایب نهاده‌ها برای ارزیابی آنالیز حساسیت نهاده‌های انرژی بر عملکرد گندم استفاده شد. مقدار MPP نهاده‌های مختلف با استفاده از j نهاده از رابطه (۹) به دست آمد (Rafiee *et al.*, 2010).

$$MPP_{Xj} = \frac{GM(Y)}{GM(X_j)} \times \alpha_j \quad (۹)$$

که در آن: MPP_{XJ} بهره‌وری نهایی نهاده j ام، α_j ضریب رگرسیونی نهاده j ام، $GM(Y)$ میانگین هندسی عملکرد محصول و $GM(X_j)$ میانگین هندسی نهاده انرژیj ام در واحد سطح است.

۳- بحث و نتایج

تعیین سهم انرژی هر یک از نهاده‌های مصرفی داده‌های مربوط به مقدار و معادل انرژی ورودی‌های مختلف و همچنین دانه، کاه و کلش تولیدی در سیستم تولید گندم آبی استان اردبیل در جدول ۱ ارائه شده است. کل انرژی ورودی برای دانه گندم ۳۸۷۵۵/۳۴ مگاژول بر هکتار برآورد شد. انرژی خروجی (کاه و دانه) یا عملکرد بیولوژیک و دانه به ترتیب ۷۷۳۸۱/۳۹ و ۶۵۰۱۶/۰۷ مگاژول در هکتار محاسبه گردید. کود نیتروژن

با ۳۷/۳۸ درصد در بالاترین سطح بود. سوخت دیزل با ۱۹/۰۳درصد در رتبه دوم و بذر و آب مصرفی به ترتیب با ۱۷/۲۹ و

جدول ۱- ضریب‌های هم‌ارز انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید گندم آبی

Table 1. Energy equivalent of inputs and outputs used for wheat production in irrigated farms

انرژی نهاده یا ستانده Input and output energy	انرژی در واحد معادل Energy equivalent.unit^{-1}	واحد انرژی Energy unit	مرجع Refrence
انرژی نهاده Input energy			
نیروی انسان Human labor	1.96	MJ h^{-1}	Ozkan et al., 2004; Yilmaz et al., 2005; Singh et al., 2002
ماشین‌ها Machinery			
تراکتور Tractor	93.6	MJ kg^{-1}	(Ovtit-Canavate and Hernanz، 1999)
کمباین Combine	306.7	MJ kg^{-1}	(Ovtit-Canavate and Hernanz، 1999)
سایر ماشین‌ها Implement and machinery	62.7	MJ kg^{-1}	(Ovtit-Canavate and Hernanz، 1999)
ماشینها و ادوارت			
سوخت دیزل Diesel fuel	56.31	MJ kg^{-1}	Erdal et al., 2007; Singh et al.
کودهای شیمیایی Fertilizers			
ازت (N) Nitrogen	66.14	MJ kg^{-1}	2007; Yilmaz et al., 2005
فسفر (P_2O_5) Phosphate	12.44	MJ kg^{-1}	Yilmaz et al., 2005
پتاسه (K_2O) Potassium	11.55	MJ kg^{-1}	Yilmaz et al., 2005
ریزمغذی Micro nutrent	120	MJ kg^{-1}	Gundogmus (2006)
سموم شیمیایی Pesticides			
علف‌کش Herbicides	238	MJ L^{-1}	Gundogmus (2006)
حشره‌کش Insecticides	101.2	MJ L^{-1}	Gundogmus (2006)
قارچ‌کش Fungicides	216	MJ kg^{-1}	Gundogmus (2006)
بذر Seed	25	MJ kg^{-1}	Burhan, et al., 2004
حمل‌ونقل Transport	3.05	MJ.t.km^{-1}	Kitani, 1999
الکتریسیته Electricity	3.6	MJ.kWh^{-1}	Ghorbani, et al., 2011
آب Water for irrigation(m^3)	1.02	MJ m^{-3}	Singh et al., 2004
انرژی ستاده Output energy			
دانه گندم wheat yield	14.48	MJ kg^{-1}	Ghorbani, et al., 2011
کاه و کلش stable	2.25	MJ kg^{-1}	Ghorbani, et al., 2011

۱۲/۹۰ درصد در رتبه‌های بعدی بیشترین درصد از انرژی ورودی را داشتند. سم‌های شیمیایی قارچ‌کش، علف‌کش و حشره‌کش به ترتیب با۰/۹۰،. ۰/۱۵ و ۰/۷۲ کمترین درصد انرژی ورودی را داشتند (جدول۲). دیگر محققان نیز نتایج کم و بیش مشابهی را مطرح کردند (Asgharipour *et al.*, 2016). میانگین کارایی مصرف انرژی برای عملکرد دانه ۱/۶۷ به دست آمد. در تولید دانه گندم آبی بهره‌وری انرژی ۰/۱۱۶ کیلوگرم بر مگا ژول و افزوده انرژی خالص نیز ۲۶۲۶۰/۷۳ مگا ژول بر هکتار بود (جدول ۳). با توجه به بررسی منبع‌ها، نتایج کلی نشان می‌دهد ازنظر افزوده انرژی خالص، تولید گندم آبی در استان اردبیل در مقایسه با تولید آن در دیگر نقاط کشور مقرون‌به‌صرفه است. مطالعات و نتایج بررسی‌ها در این پژوهش با نتایج دیگر محققان همخوانی دارد (Canakci *et al.*, 2005).

مطابق (شکل ۱) از لحاظ انرژی‌های مستقیم (DE) در مقابل غیرمستقیم (IDE) و تجدید پذیر (RE) در مقابل تجدید ناپذیر (NRE) در نظام تولید گندم آبی استان اردبیل مشاهده می‌شود که حدود ۳۹/۸۵ درصد از کل انرژی‌های ورودی برای انرژی مستقیم و ۶۰/۰۷ درصد را انرژی‌های غیرمستقیم به خود اختصاص دادند. در این میان سهم انرژی‌های تجدید پذیر و غیر تجدید پذیر به ترتیب ۳۰/۹۸ و ۶۸/۳۹

درصد از کل انرژی‌های ورودی در سامانه تولید گندم آبی بودند. این نتایج با پژوهش‌های دیگر محققان مطابقت دارد (Zoghipour & Torkamani, 2004).

مدل‌سازی اثر انرژی‌های ورودی بر عملکرد گندم آبی

برای بررسی ارتباط بین نهاده‌های انرژی و عملکرد گندم آبی، از تابع تولید کاب داگلاس به روش حداقل مربعات معمولی استفاده شد. برای خود همبستگی داده‌ها از آزمون دوربین - واتسون استفاده شد. مقدار عددی دوربین- واتسون برای مدل اول (رابطه ۵)، ۱/۵۰۶ بود (جدول4). طبق نتایج تنها ضریب انرژی ماشینی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به مثبت بودن و کمتر از یک بودن نرخ بازگشت به مقیاس، تولید انرژی گندم آبی در استان اردبیل در ناحیه دوم قرار دارد و افزایش هم‌زمان یک درصدی در انرژی نهاده‌های مصرفی، سبب افزایش انرژی به‌اندازه کمتر از یک درصد می‌شود. ضریب رگرسیونی نهاده‌های انرژی نیروی انسانی، سوخت و آب منفی است به عبارتی افزایش یک‌درصدی هر یک از این نهاده‌ها به‌شرط ثابت فرض کردن سایر نهاده‌ها سبب کاهش انرژی تولید گندم آبی می‌شود. در واقع این نهاده‌ها بیش از مقدار موردنیاز مصرف می‌شوند و تولید به ازای مصرف این نهاده در ناحیه سوم می‌باشد که اقتصادی نیست. همچنین ضریب رگرسیونی نهاده‌های انرژی ماشین، کودشیمیایی، سموم شیمیایی، الکتریسیته و بذر مثبت و کوچک‌تر از یک به دست آمد. به عبارتی با افزایش یک‌درصدی در هریک از این نهاده‌های به‌شرط ثابت فرض کردن مقدار مصرف سایر نهاده‌ها، مقدار انرژی تولیدی گندم آبی کمتر از یک درصد افرایش می‌یابد. درواقع این نهاده‌ها متناسب با مقدار موردنیاز مصرف می‌شوند و از آن‌ها بطوراقتصادی استفاده می‌شود و تولید به ازای مصرف این نهاده در ناحیه دوم می‌باشد. همچنین مقدار عددی شاخص بازده به مقیاس برای مدل ۱ که با جمع‌کردن ضرایب رگرسیون محاسبه شد معادل ۰/۶۰۸ به دست آمد (جدول4) که نشان می‌دهد پایین بودن مقدار بازده به مقیاس از یک حاکی از آن است اگر تمامی نهاده‌های مورد مصرف در تولید گندم دو برابر شود تولید گندم کمتر از دو برابر خواهد شد. ماشین‌های مورداستفاده با کشش (۰/۸۲۷) واحد بین نهاده‌های دیگر در تولید گندم آبی استان اردبیل بیشترین تأثیر را داشت. نتایج حاکی از این است که با استفاده بیشتر از ماشین‌ها، مقدار عملکرد در شرایط حاضر افزایش می‌یابد در ارتباط با نتیجه به‌دست‌آمده در شرایط ثابت، افزایش ۱۰ درصد در استفاده از ماشین‌آلات سبب افزایش ۸/۲ درصد در عملکرد گندم آبی می‌شود. این نتایج با تحقیقات اصغری پور و همکاران در سال ۱۳۹۵ که میزان استفاده مؤثر ماشین‌ها در نظام تولید گندم آبی شهرستان کرمانشاه را با کشش ۰/۴۸ واحد گزارش کردند مشابهت دارد (Asgharipour *et al.*, 2016).

جدول ۲- جریان انرژی نهاده‌ها و ستادها در تولید گندم آبی (مگا ژول در هکتار)

Table 2. Energy inputs and outputs for irrigated wheat production farms (MJ. ha^{-1})

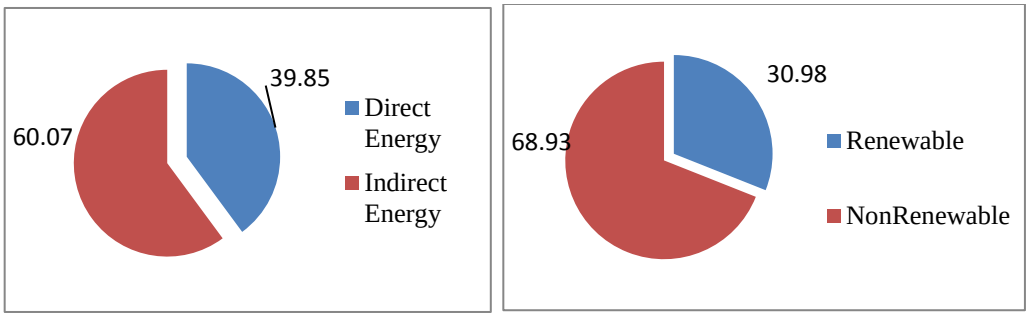
انرژی نهاده یا ستانده Input and output energy	معادل (مگاژول در هکتار) انرژی در واحد Energy equivalent.unit^{-1} (MJ ha^{-1})	سهم کل انرژی ورودی Share of total input energy (%)
انرژی نهاده Input energy		
نیروی انسان Human labor	309.93	0.79
ماشین‌ها Machinery	1773.03	4.57
سوخت دیزل Diesel fuel	7379.98	19.03
کودهای شیمیایی Fertilizers		
نیتروژن Nitrogen (N)	14497.21	37.38
فسفر Phosphate (P_2O_5)	896.14	2.31
پتاسه Potassium (K_2O)	125.66	0.23
ریزمغذی Micro nutrient	280.56	0.72
سموم شیمیایی Pesticides		
علف‌کش Herbicides	249.39	0.64
حشره‌کش Insecticides	57.00	0.09
قارچ‌کش Fungicides	35.00	0.15
بذر Seed	6707.50	17.29
حمل‌ونقل Transport	485.63	1.25
الکتریسیته Electricity	990.00	2.25
آب مصرفی Water for irrigation(m^3)	5000.3	12.90
انرژی ستاده Output energy		

Wheat yield دانه گندم	65016.06	-
Stable کاه و کلش	12365.35	-

جدول۳-شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی

Table 3. Energy indices in irrigated wheat production

Index شاخص	واحد Unit	مقدار Value (quantity)
Input energy انرژی نهاده	MJ ha^{-1}	38755.34
Output energy انرژی ستاده	MJ ha^{-1}	65016.07
Energy ratio کارآیی انرژی	-	1.67
Energy productivity بهره‌وری انرژی	kg MJ^{-1}	0.116
Net energy افزوده انرژی	MJ ha^{-1}	2626.73



شکل ۱- سهم اشکال دیگر انرژی‌های ورودی در تولید گندم آبی (درصد)

Fig 1. Share of other forms of energy in irrigated wheat production

تحلیل حساسیت نهاده‌های انرژی

برای آنالیز حساسیت نهادهای انرژی، عملکرد اقتصادی گندم (متغیر درونی) تابعی از نیروی کار انسانی، ماشین‌های مورداستفاده، کودها و سموم شیمیایی استفاده شده، آب آبیاری و بذر (متغیر بیرونی) در نظر گرفته شد. حساسیت نهاده‌های انرژی با استفاده از روش بهره‌وری فیزیکی نهائی (MPP) و ضرایب رگرسیون با مشتقات جزئی بر عملکرد گندم برآورد شد. نرخ بازگشت به مقیاس به‌ترتیب ۰/۶۰۸ برآورد گردید. نتایج حاصل از تخمین مدل رگرسیونی نشان داد که مقدار عددی دوربین- واتسون برای مدل ۱/۵۰۶ و تأثیر اکثر نهادها بر عملکرد مثبت بود. تحلیل حساسیت نشان داد مقدار MPP بین ۰/۲۳- تا ۱/۸۰۹ متغیر بود. همان‌طور که در (جدول ۴) مشاهده می‌گردد ماشین‌آلات با ۱/۸۰۹ بیشترین مقدار MPP و پس از آن سموم، کود شیمیایی و الکتریسیته به‌ترتیب با ۰/۳۴، ۰/۰۷ و ۰/۰۲۳ در ردیف بعدی قرار داشتند این اعداد نشان می‌دهد که به ازای ورود هر مگا ژول اضافی از ماشین‌آلات عملکرد به میزان ۱/۸ کیلوگرم افزایش می‌یابد بنابراین تنها پارامتری بیرونی است که با ضریب حساسیت بالا تأثیر قدرتمندی بر متغیر درونی دارد و در مراتب بعدی سموم وجودهای شیمیایی مؤثر می‌باشد به عبارتی محاسبه بهره‌وری فیزیکی نهائی (MPP) نشان دهنده این است که در تولید گندم آبی کدام متغیر بیرونی ترجیحاً بایستی مدیریت شود (Drechsler, 1998). در این پژوهش برخی بهره‌وری نهائی (MPP) من‌جمله نیروی کار انسانی، سوخت و آب مورداستفاده به ترتیب ۰/۲۳۸، ۰/۰۵۳- و ۰/۰۱۸- بود. معنای مقدار عددی MPP منفی نشان می‌دهد که مصرف اضافی نهاده موردنظر بر عملکرد تأثیری ندارد به عبارتی کاهش عملکرد در مقابل مصرف بیشتر نهاده است. محققان دیگر در محصول جو گزارش کردند که عمده MPP به علت انرژی نیروی انسانی و به‌وسیله ماشین‌آلات دنبال شد (Asgharipour *et al.*, 2016). سینگ و همکاران نیز در آنالیز نهادهای انرژی بر تولید گندم در پنج اقلیم متفاوت زراعی در هند گزارش کردند که MPP سموم شیمیایی در مناطق ۵-۱ به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۲،۲۱۱/۰۸۱۶/۳۸۵- و ۰/۶۲۴ است (Singh *et al.*, 2004).

جدول ۴- اثر انرژی‌های ورودی بر عملکرد و تحلیل حساسیت آن‌ها در نظام تولید گندم آبی

Table 4. The effect of input energies on the yield and sensitivity analysis in irrigated wheat production

	متغیرهای درونی: عملکرد Internal variable: Yield	مقدار ضریب Coefficient	مقدار t t-Ratio	**بهره‌وری فیزیکی نهایی** Marginal Physical Productivity (MPP)
Model 1	$Ln\ Yi = a_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 + \alpha_3 \ln X_3 + \alpha_4 \ln X_4 + \alpha_5 \ln X_5 + \alpha_6 \ln X_6 + \alpha_7 \ln X_7 + \alpha_8 \ln X_8 + e_i$			
	متغیر بیرونی External variable			
	نیروی انسانی Human labor	-0.189	-1.900	-0.238
	ماشین Machinery	0.827	5.402**	1.809
	سوخت fuel	-0.101	-1.196	-0.053
	کود Fertilizers	0.018	0.531	0.219
	سموم Pesticides	0.022	1.745	0.24
	الکتریسته Electricity	0.006	0.833	0.023
	آب مصرفی Water for irrigation	-0.024	-0.385	-0.018
	دانه seed	0.049	0.503	0.028
	دوربین واتسون Durbin-Watson Test	1.506	-	-
	R^2	0.419	-	-
	بازده نسبت به مقیاس Return to scale	0.608	-	-

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد و *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

* and **: Significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively. ns: Non- significant

بر اساس جدول ۵ نتایج نشان می‌دهد بااینکه ضرایب رگرسیون انرژی‌های مستقیم (DE)، غیرمستقیم (IDE)، تجدید پذیر (RE) و تجدید ناپذیر (NRE) از لحاظ سطوح آماری معنی‌دار نبود منتهی کشش‌پذیری آن‌ها به ترتیب با ۲/۸۲۵، ۲/۱،۶۱۶/۹۲۳ و۱/۷۸۶ نشان می‌دهد یک درصد افزایش در نهاده‌های انرژی به شکل مستقیم، غیرمستقیم، تجدید پذیر و تجدید ناپذیر به ترتیب سبب افزایش ۲/۸۲۵، ۲/۱،۶۱۶/۹۲۳ و۱/۷۸۶ درصدی عملکرد می‌شود این نشان می‌دهد همه اشکال انرژی بر عملکرد تأثیر مثبت دارد همچنین اثر انرژی مستقیم و تجدید پذیر نسبت به غیرمستقیم و غیر تجدیدپذیر بیشتر است. پژوهشگران متعددی گزارش کردند که تأثیر انرژی مستقیم نسبت به غیرمستقیم و تجدید پذیر نسبت به تجدید ناپذیر بیشتر است (Singh *et al.*, 2004, Shahan, *et al.*, 2008). MPP

انرژی مستقیم، غیرمستقیم، تجدید پذیر و تجدید ناپذیر نیز به‌ترتیب ۰/۳۸، ۰/۰۱۹، ۰/۱۵ و ۰/۰۱۷ بود که نشان می‌دهد افزایش یک مگا ژول انرژی از هرکدام از انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدید پذیر و تجدید ناپذیر به ترتیب سبب افزایش ۰/۳۸، ۰/۰۱۹، ۰/۱۵و ۰/۰۱۷ کیلوگرم در عملکرد می‌شود. مقدار بازده به مقیاس برای مدل‌های ۲و ۳ به ترتیب ۰/۴۲ و ۰/۳۶ بود که نشان‌دهنده کاهشی بودن آن در تولید گندم آبی استان اردبیل است (جدول ۵). کمتر از یک بودن شاخص بازده به مقیاس بیان می‌کند اگر تمام نهاده‌های ورودی به اندازه یک درصد افزایش یابد از منظر انرژی مستقیم و غیرمستقیم ۰/۴۲ و از لحاظ انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر ۰/۳۶درصد به انرژی عملکرد افزوده می‌شود. بنابراین، باید تغییرات اصلاحی زیادی درمجموع نهاده‌ها وجود داشته باشد تا حدوداً نصف آن برای عملکرد مؤثر شود.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش به بررسی جریان مصرف انرژی و مدل‌سازی آن در تولید گندم استان اردبیل پرداخته است. کل انرژی ورودی و خروجی به‌ترتیب ۳۸۷۵۵/۳۴ MJ ha^{-1} و ۶۵۰۱۶/۰۷ و در بین نهاده‌های ورودی انرژی کود نیتروژن و سوخت دیزل به‌ترتیب با ۳۷/۳۸٪ و ۱۹/۰۳٪ بیشترین سهم را داشتند سهم انرژی مستقیم و غیرمستقیم به ترتیب حدود ۳۹/۸۵٪ و۶۰/۰۷٪ و انرژی‌های تجدیدپذیر و غیر تجدیدپذیر به ترتیب ۳۰/۹۸٪ و ۶۸/۳۹٪ بود. کارایی انرژی و نرخ بازگشت به مقیاس به ترتیب ۱/۶۷و ۰/۶۰۸ برآورد گردید. تحلیل حساسیت نشان داد بیشترین مقدار MPP برای ماشین‌آلات برابر با ۱/۸۱ بود. نتایج حاکی از این است که با استفاده بیشتر از ماشین‌آلات، مقدار عملکرد در شرایط حاضر افزایش می‌یابد. در این میان مقدار MPP از آن سموم، کود شیمیایی و

الکتریسیته به ترتیب با ۰/۳۴، ۰/۰۷ و ۰/۰۲۳ بود که نشان‌دهنده استفاده بیشتر از این نهاده‌ها در تولید گندم آبی است که مصرف واحدهای اضافی کودها و سوخت‌های فسیلی سبب آلودگی منابع طبیعی

جدول ۵- نتایج تحلیل حساسیت انرژی مستقیم (DE) در مقابل غیرمستقیم (IDE) و تجدید پذیر(RE) در مقابل تجدیدناپذیر (NRE) در نظام تولید گندم آبی استان اردبیل

Table 5. The results of sensitivity analysis for direct energy versus indirect energy and renewable energy versus nonrenewable energy in irrigated wheat production in Ardabil province

بهره‌وری فیزیکی نهایی Marginal Physical Productivity (MPP)	مقدار t t-Ratio	مقدار ضریب Coefficient	متغییرهای درونی: عملکرد Internal variable: Yield	
$\ln Yi= \beta_0+ \beta_1 \ln DE + \beta_2 \ln IDE + +e_i$				Model 2
	4.520^{**}	4.343	متغیر درونی External variable	
0.038	2.825^{**}	0.317	انرژی مستقیم Direct energy	
0.019	1.923	0.102	انرژی غیر مستقیم Indirect energy	
-	-	1.334	دوربین واتسون Durbin-Watson Test	
-	-	0.177	R^2	
-	-	0.42	بازده نسبت به مقیاس Return to scale	
$\ln Yi = \gamma_0 + \gamma_1 \ln RE + \gamma_2 \ln NRE + e_i$				Model 3
0.015	2.616	0.251	انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	
0.017	1.786	0.113	انرژی غیر تجدیدپذی Nonrenewable energy	
-	-	1.256	دوربین واتسون Durbin-Watson Test	
-	-	0.173	R^2	
-	-	0.36	بازده نسبت به مقیاس Return to scale	

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد و *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

* and **: Significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively. ns: Non- significant

و غیر ارگانیک شدن محصولات کشاورزی مانند گندم می‌شود. بدین ترتیب، چنین به نظر می‌رسد که بتوان از روش‌های مختلف مدیریت نظام زراعی بر مبنای بهره‌گیری از اصول کم نهاده نظیر کاربرد انواع نهاده‌های آلی، کاهش تردد ماشین‌ها و مصرف انواع نهاده‌های شیمیایی برای کاهش اثرهای محیط زیستی این نظام تولیدی و تغییر اقلیم استفاده کرد.

۵- تشکر و قدردانی

از همکاران معاونت تولیدات گیاهی و اداره فناوری‌های مکانیزه سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل و مدیریت‌های جهاد کشاورزی شهرستان‌های تابعه به‌دلیل حمایت و همکاری در اجرای پروژه، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

۶- منابع

Almasi, M., Kiani, Sh. and Lovimi, N. (2008). *Fundamentals of Agricultural Mechanization. Fourth edition.* Jangal Publication. Tehran. 293 p. (In Persian).

Anonymous. (2016). *Agricultural statistics center for information and communication*. Assistance of technology, Planning and Economic, Ministry of Agriculture. Volume 1: Crops. (In Persian).

Asgharipour, M. R. Salehi, F. and Ahmadpour, M. (2016). *Energy Consumption Pattern and Sensitivity Analysis of Irrigated Wheat Production Farms in Kermanshah*. Environmental Sciences Issue: Vol. 14, No. 1 pp9-18. . (In Persian).

Canakci M, Topakci M, Akinci I, Ozmerzi A. (2005). *Energy use pattern of some field crops and vegetable production.* Case study for Antalya Region Turkey. Energy conversion and Management; 46:655-666.

Cetina B. and Vardar A. (2008). *An economic analysis of energy requirements and input costs for tomato production in Turkey*. Renewable Energy; 33:428-433.

Darlington, D. (1997). *What is efficient agriculture?* Available at URL: http:// www. veganorganic.net/agri.htm.

Davani D. and Hasanzade A. (2010). *Energy flow in dryland wheat fields of Bushehr and its impact on the environment.* Sixth National Congress on Mechanization and Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Karaj;.p.121. (In Persian).

Drechsler M. (1998). *Sensitivity analysis of complex models.* Biology Conservation; 86:401-412.

Esmailpour, T. M., Khojastehpour, M., Vahedi, A. and Emadi, B. (2018). *Sensitivity analysis of energy inputs and economic evaluation of pomegranate production in Iran.* information processing in agriculture Vol. 5 ,114–123

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M. and 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.

Kennedy, S. (2001). *Energy use in American agriculture. Sustainable energy term paper.* Available at: www.web.mit.edu/energylab/ proceeding

Kocheki, A. (1994). *Agriculture and Energy (Ecological Attitudes).* Ferdowsi University Press, Mashad, Iran (In Persian).

Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S. Jafari, A. and Mohammadi, A. (2011). *Optimization of energy consumption for soybean production using Data Envelopment Analysis (DEA) approach.* Applied Energy, 88 (11): 3765-3772.

Rafiee, S., Mousavi Avval, SH. and Mohammadi, A. (2010). *Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran.* Energy, 35(8), 3301–3306.

Royan, M., Khojastehpour, M., Emadi, B. and Ghasemi Mobtakr, H. (2012). *Investigation of energy inputs for peach production using sensitivity analysis in Iran.* Energy Conversion and Management 64: 441-446.

Shahan, S., Jafari, A., Moibli, H., Rafiee, S., and Karimi M. (2008). *Energy use and economic analysis of wheat production in Iran a case from Ardabil province.* Agricultural Technology; 4:77-88.

Singh G., Singh, S. and Singh, J. (2004). *Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab.* Energy Conversation and Management; 45: 453-65.

Taheri-Rad, A., Nikkhah, A., Khojastehpour, M. and Shahram Noroozie, S. (2015). *Assessing the GHG emissions, the energy and economic analysis of cotton production in Golestan province.* Agricultural Machinery, 5 (2), 428 - 445.

Zoghipour, A. and Torkamani, J. (2004). *Analysis of Data-Output Pattern of Energy in Iranian Agriculture.* Department of Agricultural Economics. School of Agriculture. Shiraz University. (In Persian).

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)