

ارزیابی شاخص‌های انرژی در تولید گشنیز، کلزا و گندم در شهرستان نهاوند با تکنیک‌های هوش محاسباتی

رضا کیانی^۱، حسین حاجی آقا علیزاده^{*} و بهنام سپهر^۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۱۴

۱- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

*مسئول مکاتبه: h-alizade@basu.ac.ir

چکیده

مدیریت بهینه انرژی در سیستم‌های کشاورزی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، مبحثی است که به یکی از موضوعات مورد توجه محققان در سراسر جهان تبدیل شده است. این پژوهش با استفاده از روش میدانی اقدام به جمع‌آوری و ثبت اطلاعات به صورت مصاحبه و پرسشنامه کرده است. بهینه‌سازی مصرف انرژی و مدل‌سازی انرژی مصرفی برای تولید این محصولات با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و تحلیل پوششی داده‌ها انجام گرفت. به منظور انجام تحلیل‌ها از نرم‌افزارهای DEA-SOLVER و EMS13 استفاده گردید و مزارع از نظر میزان انرژی مصرفی و عملکرد تولیدشان مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که متوسط انرژی برای هر هکتار محصول کلزا، گندم و گشنیز به ترتیب حدود ۹۸۴۳۷۵، ۱۳۳۸۷۶۲ و ۶۲۶۷۱/۲ مگا ژول بر هکتار است. در محصولات کلزا و گندم به ترتیب با ۵۷/۶۶٪ و ۷۲/۹۲٪ به کودهای شیمیایی به‌ویژه کود ازته تعلق داشت و در محصول گشنیز نهاده سموم شیمیایی به‌میزان ۶۸/۰۱ درصد بالاترین سهم در انرژی ورودی را داشت. شاخص نسبت انرژی برای محصولات به ترتیب ۰/۶۰، ۰/۹۱ و ۰/۵۰ به دست آمد. در نتیجه سهم انرژی‌های غیرمستقیم به دلیل مصرف کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی در تمامی محصولات بالا بود. مقدار کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس در مزارع کلزا به ترتیب ۰/۸۹، ۹۴ و ۰/۹۶ برآورد شد. پس از کود شیمیایی، انرژی ذخیره‌شده توسط نهاده‌های سوخت با ۱۵/۹۸ درصد، سموم شیمیایی با ۴/۰۲ درصد و بذر با ۲/۰۲ درصد در رتبه‌های دوم تا سوم جهت بهینه‌سازی انرژی ورودی بودند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، شبکه مصنوعی، کلزا، گشنیز، گندم

Evaluation of Energy Indicators in the Production of Coriander, Rapeseed and Wheat in Nahavand City with Computational Intelligence Techniques

Reza Kiyani¹, Hosein Haji Agha Alizadeh^{1*} and Behnam Sepehr¹

Received: 2 Jan 2021

Accepted: 7 Feb 2021

¹Department of Biosystems Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran

*Corresponding author: h-alizade@basu.ac.ir

Abstract

Optimal energy management in agricultural systems and the emission of greenhouse gases from agricultural activities is one of the topics of interest for researchers around the world. This research has used the field method to collect and record data in the form of interviews and questionnaires. Optimization of energy consumption and modeling of energy consumption for the production of these products were performed using artificial neural networks and data envelopment analysis. DEA-SOLVER and EMS13 software were used for analysis and farms were evaluated in terms of energy consumption and production performance. The results showed that the average energy per hectare of rapeseed, wheat and coriander is about 984375, 1338762 and 626771 MJ per hectare, respectively. In rapeseed and wheat crops, respectively 57.66% and 72.92% of energy input, belonged to chemical fertilizers, especially nitrogen fertilizer, and in coriander, chemical toxins input had the highest share in energy input with 68.01%. Energy ratio index for products was 0.60, 0.91 and 0.50, respectively. As a result, the share of indirect energy was high in all products due to the use of chemical fertilizers and chemical toxins. The amount of technical efficiency, net technical efficiency and scale efficiency in rapeseed fields were estimated to be 0.89, 94 and 0.96, respectively. After chemical fertilizer, energy stored by fuel inputs with 15.98%, chemical toxins with 4.02% and seeds with 2.02% of total stored energy, after chemical fertilizer in the second to third ranks for they had the optimization of input energy.

Keywords: Artificial Network, Coriander, Data Envelopment Analysis, Rapeseed, Wheat

How to cite:

Kiyani, R., Haji Agha Alizadeh, H., Sepehr, B. 2020. Evaluation of Energy Indicators in the Production of Coriander, Rapeseed and Wheat in Nahavand City with Computational Intelligence Techniques. Journal of Agricultural Mechanization 5 (1): 11-19.

۱- مقدمه

(Nemecek *et al.*, 2013). پیشرفت در افزایش بازده سامانه‌های کشاورزی با بهره‌گیری از منابع انرژی کمتر در مقایسه با محصولات تولیدی به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند (Dalgaard *et al.*, 2001). یکی از مهم‌ترین ابزارهای ارزیابی وضعیت مصرف انرژی، شاخص‌های اقتصادی انرژی است و در هریک از بخش‌های اقتصادی تعیین این شاخص‌ها امکان مقایسه مصرف انرژی آن‌ها را فراهم می‌کند.

با محاسبه این شاخص‌ها و تحلیل نتایج به دست آمده از آن‌ها می‌توان عملکرد هر یک از بخش‌ها را در حوزه انرژی ارزیابی و از این طریق به تدوین استراتژی‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت الگوی بهینه مصرف انرژی در کشور دست یافت. امروزه تحقیقات بسیاری در زمینه عملکرد و کارایی انرژی بر روی محصولات کشاورزی و مواد غذایی صورت گرفته است. هم‌چنین پژوهش‌های بسیاری در زمینه خواص فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی، رنگ‌سنجی و پس از برداشت آن‌ها انجام شده است. علی‌رغم این مطالعات گسترده در زمینه خواص کیفی محصولات کشاورزی، پژوهش‌های انجام شده در زمینه انرژی مصرفی بر روی محصولات کشاورزی بالا است.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش در منطقه نهاوند و در سطحی بالغ بر ۱۰۰ هکتار اجرا گردید. محدوده طبیعی نهاوند با مساحتی در حدود ۱۷۰۶/۳۸ کیلومترمربع، دارای مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی است. مرکز حوضه دارای مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی است. ارتفاع شهر نهاوند از سطح دریا در حدود ۱۶۶۷ متر است. آب‌وهوای منطقه نهاوند تحت تأثیر عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، جهت و امتداد کوه‌ها و وزش بادهای محلی مختلف قرار دارد. بر اساس آمار، میانگین سالانه دما در منطقه در حدود ۱۲/۷+ درجه سانتی‌گراد است. سردترین ماه، دی‌ماه با میانگین ۰/۵- درجه سانتی‌گراد و گرم‌ترین ماه، تیرماه با میانگین ۲۵/۶+ درجه سانتی‌گراد است (Saberfar & Zamanian, 2012). در این پژوهش داده‌های میدانی و کتابخانه‌ای از طریق پرسشنامه و آمارهای جهاد کشاورزی منطقه، جمع‌آوری شده است.

با طراحی پرسشنامه مناسب اطلاعات موردنیاز به صورت مصاحبه با کشاورزان در مزارع، جمع‌آوری و تهیه گردید. پرسشنامه‌ها شامل پرسش‌هایی نظیر میزان محصول تولیدشده، بافت خاک مزرعه، نوع ماشین‌آلات استفاده‌شده در خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت، نحوه آبیاری، عمق و دبی آب چاه و میزان و نحوه استفاده از نهاده‌های مختلف است. پس از جمع‌آوری اطلاعات اولیه با استفاده از روش‌ها، رابطه‌ها، نمودارها و جدول‌های استاندارد مختلف، انرژی مصرف‌شده در

یکی از چالش‌های اصلی پیش‌روی کشاورزی در سراسر جهان تأمین امنیت غذایی برای جمعیت روبه رشد جهان است. هدف کشاورزی پایدار نیز تأمین این امنیت غذایی با حفظ منابع پایه زمین، آب و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی است. پنج درصد کل انرژی جهان در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد (Smith *et al.*, 2014)؛ اما ۱۱ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای که عمدتاً ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی جهت تهیه سموم و کودهای شیمیایی، الکتریسیته و عملیات خاک‌ورزی است، در این بخش مصرف می‌شود (Camargo *et al.*, 2013). مدیریت بهینه انرژی در سیستم‌های کشاورزی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، مبحثی است که به یکی از موضوعات موردتوجه محققان در سراسر جهان تبدیل شده است.

۱-۱- گیاهان مورد مطالعه

کلزا، گشنیز و گندم گیاهان مورد استفاده در این تحقیق است. کلزا سومین گیاه روغنی عمده جهان پس از سویا و نخل روغنی بوده و مهم‌ترین گیاه روغنی در بین گونه‌های متعلق به جنس *براسیکا* است (Hamzehpour *et al.*, 2017). گشنیز گیاهی از خانواده گل چتریان و یک‌ساله است (Ghobadi & Fatahi, 2016). گندم مهم‌ترین غله و گیاه زراعی دنیا، گیاهی تک‌لپه، علفی و یک‌ساله از تیره غلات است (MirHaider, 1993).

۲-۱- مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی

این بخش به سه گروه مصرف انرژی قبل از ورود به مزرعه، در داخل مزرعه و خارج از مزرعه تقسیم می‌گردد (Almasi *et al.*, 2008). ۱- مصرف انرژی قبل از ورود به مزرعه: شامل ساخت ماشین‌ها و مواد لازم، ساخت کودها و سموم و به‌طور کلی ساخت مواد شیمیایی، آماده‌سازی (بوچاری و غیره) بذور جهت کاشت، تأسیسات آبرسانی، حمل‌ونقل، تأسیسات ثابت روستایی و مصالح ساختمانی است. ۲- مصرف انرژی در داخل مزرعه شامل: عملیات تهیه زمین و کاشت، داشت، برداشت، نگهداری و آماده‌سازی، درجه‌بندی و بسته‌بندی اولیه و حمل‌ونقل داخل مزرعه است. ۳- مصرف انرژی در خارج از مزرعه شامل: حمل‌ونقل، بسته‌بندی انبارداری، سردخانه و صنایع تبدیلی، بازار و غیره است.

استفاده زیاد از نهاده‌های کشاورزی مانند انواع کودهای شیمیایی و سوخت‌های فسیلی منجر به بروز تأثیرات زیست‌محیطی مخرب گشته است که از آن جمله می‌توان به افزایش گرمای جهانی، کاهش تنوع زیستی، تنزل کیفیت خاک (به‌عنوان مثال فرسایش، فشردگی و یا کاهش مواد آلی خاک) و آلودگی آب‌ها، خاک و هوا اشاره کرد

۲-۲- انرژی سوخت دیزل

برای محاسبه انرژی سوخت، بعد از محاسبه میزان سوخت مصرفی در هر عملیات (لیتر بر هکتار)، آن را طبق فرمول ۵ در ضریب انرژی معادل آن ضرب می‌کنیم.

$$E_p = Q_i E_i \quad (5)$$

که در آن E_p : انرژی سوخت برحسب مگا ژول بر هکتار ($MJ ha^{-1}$)، Q_i : مقدار سوخت مصرف‌شده برحسب لیتر بر هکتار ($L ha^{-1}$) و E_i : انرژی معادل هر واحد سوخت برحسب مگا ژول بر لیتر ($MJ L^{-1}$) است (Singh, 2006).

۲-۳- انرژی کودها

به‌منظور تعیین میزان انرژی مصرفی کود بایستی مطابق با فرمول ۶ درصد عنصر خالص را در انرژی ساخت هر واحد ضرب نمود، چراکه انرژی عمده تهیه کود مربوط به این بخش است. جمع انرژی مصرفی شامل تولید، بسته‌بندی و حمل‌ونقل است:

$$E_f = W_t E_i \quad (6)$$

E_f : انرژی کود در هکتار ($MJ ha^{-1}$)، W_t : وزن کود مصرف‌شده (kg) E_i و ha^{-1} و E_i : انرژی موجود در هر کیلوگرم کود ($MJ kg^{-1}$) است (Alam *et al.*, 2005).

۲-۴- انرژی سموم

برای تعیین میزان انرژی مصرفی سم در هکتار نیز بعد از تعیین میزان سم‌های مختلف در هکتار که از اطلاعات زارعین در پرسشنامه برای محصولات مختلف به‌دست آمد و با توجه به هم‌ارزهای موجود، مقدار انرژی واحد را در مقدار سم در هکتار ضرب نموده و انرژی مصرفی در هکتار مطابق با فرمول ۷ حساب می‌شود.

$$E_p = W_p E_i \quad (7)$$

که در آن E_p : انرژی سم مصرفی در هکتار ($MJ ha^{-1}$)، W_p : مقدار سم مصرفی در هکتار ($kg ha^{-1}$) یا ($L ha^{-1}$) و E_i : انرژی موجود در هر واحد سم ($MJ L^{-1}$) یا ($MJ kg^{-1}$) است (Alam *et al.*, 2005).

۲-۵- انرژی ماشین

جهت برآورد انرژی نهاده برای ماشین‌ها و تجهیزات در هکتار باید وزن ماشین‌های استفاده‌شده در مزرعه، مدت ساعات کاری در سال، هم‌ارز انرژی و سطح متوسطی را که آن‌ها سالیانه تحت پوشش قرار می‌دهند، به‌دست آورده و انرژی ماشین‌ها و ادوات را مطابق فرمول ۸ محاسبه نمود (Kitani *et al.*, 1999):

$$E_M = GI/LA \quad (8)$$

هر قسمت محاسبه گردید. علاوه بر مصاحبه با بهره‌برداران و بازدید از اراضی زیر کشت، جهت تکمیل پرسشنامه و ثبت داده‌ها از اطلاعات کارشناس مربوطه در جهاد کشاورزی نیز استفاده شد.

۲-۱- شاخص‌های انرژی

انرژی در مزرعه در مراحل مختلف به صورت‌های گوناگون مصرف می‌شود که این مراحل از دید کلی به‌صورت زیر است:

ماشین‌آلات (برای انجام عملیات‌های مزرعه‌ای مختلف، حمل‌ونقل و غیره)، سوخت (برای راه‌اندازی ماشین‌ها و غیره)، کود (شیمیایی و دامی)، سم، الکتريسيته (پمپاژ آب، مصارف خانگی و غیره)، آبیاری (ساخت سدها، تجهیزات آبیاری، شبکه انتقال آب)، بذر (برای کاشت)، نیروی انسانی و دام (Hoshyar, 2009). این شاخص‌ها به‌صورت نسبت انرژی، انرژی خالص دریافتی، بهره‌دهی انرژی و انرژی ویژه تقسیم‌بندی می‌شوند.

نسبت انرژی از تقسیم انرژی خروجی (تولیدی) حاصل از محصول اصلی و یا محصول اصلی و فرعی بر انرژی ورودی (مصرفی) به دست می‌آید (رابطه ۱) و عددی بدون واحد است. طبق تعریف این شاخص نشان می‌دهد که نهاده انرژی در رابطه با ستانده چه وضعیتی دارد و هر چه بالاتر باشد بهتر است (Hatirli *et al.*, 2006).

$$ER = E_{out}/E_{in} \quad (1)$$

که در آن ER : نسبت انرژی خروجی به ورودی، E_{out} : انرژی خروجی با واحد مگا ژول بر هکتار ($MJ ha^{-1}$) و E_{in} : انرژی ورودی (مصرفی) با واحد مگا ژول بر هکتار ($MJ ha^{-1}$) است.

انرژی خالص دریافتی عبارت است از مقدار کل انرژی تولیدی (خروجی) منهای مقدار کل انرژی مصرفی (ورودی) و واحد آن مگا ژول بر هکتار ($ha^{-1} MJ$) است (رابطه ۲). همانند شاخص نسبت انرژی، این شاخص نیز هر چه بالاتر باشد، بهتر است (Hatirli *et al.*, 2006).

$$NEG = N_{out} - N_{in} \quad (2)$$

بهره‌دهی انرژی مقدار محصول حاصله از هر واحد انرژی را نشان می‌دهد و مطابق با رابطه ۳ از تقسیم محصول تولیدشده بر انرژی ورودی به دست می‌آید. (Hatirli *et al.*, 2006).

$$EP = Y/E_{in} \quad (3)$$

EP : بهره‌دهی انرژی با واحد کیلوگرم بر مگا ژول ($kg MJ^{-1}$) و Y : عملکرد محصول با واحد کیلوگرم بر هکتار ($kg ha^{-1}$) است.

انرژی ویژه معکوس شاخص بهره‌دهی انرژی است و انرژی مصرف‌شده به ازای هر واحد محصول را نشان می‌دهد و واحد آن مگا ژول بر کیلوگرم ($MJ kg^{-1}$) است (رابطه ۴). این شاخص هر چه پایین‌تر باشد، بهتر است؛ نشان می‌دهد که به ازای یک واحد محصول انرژی کمتری مصرف‌شده است (Hatirli *et al.*, 2006).

$$SP = E_{in}/Y \quad (4)$$

۲-۶- مدل رگرسیونی بین انرژی نهاده‌ها و عملکرد

با استفاده از روش رگرسیونی (یک روش پارامتری)، در این پژوهش برای برقراری رابطه بین نهاده‌ها و عملکرد استفاده می‌شود و همچنین از تابع لگاریتمی که به تابع کاب داگلاس مشهور است استفاده شد (Mobtaker et al., 2010). شکل عمومی تابع کاب داگلاس در رابطه ۹ نشان داده شده است.

$$Y=f(x)\exp(u) \quad (9)$$

$f(x)$: نهاده‌های تولیدی و (u) : میزان مطلوبیت است.

اگر از طرفین معادله ۹ لگاریتم بگیریم، معادله به صورت یک معادله خطی درمی‌آید (فرمول ۱۰).

$$\ln Y_i = \alpha + \sum_{j=1}^n \alpha_j \ln(X_{ij}) + e_i \quad (10)$$

Y_i : انرژی خروجی مزرعه نام، α : ضریب ثابت، α_j : ضریب رگرسیون نهاده‌ها، X_{ij} : نهاده‌های مورد استفاده در تولید و e_i : ضریب خطا است. در این مطالعه متغیرهای مستقل، انرژی نهاده‌ها و متغیر وابسته، میزان انرژی محصول در هکتار است. متغیرهای مستقل شامل انرژی ماشین-ها، سوخت، کودهای شیمیایی، کود دامی، سموم و آب برای بررسی رابطه بین انرژی نهاده‌ها و عملکرد است. برای تحلیل میزان تغییر در خروجی با توجه به میزان تغییر در ورودی‌ها از نرخ بازگشت به مقیاس استفاده شده است. این شاخص از مجموع ضرایب به دست آمده از معادلات رگرسیونی محاسبه می‌شود.

۲-۷- تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و مدل‌های آن

به منظور ارزیابی عملکرد و اندازه‌گیری فنی واحدهای تولیدی روش‌های مختلفی وجود دارد که به دو گروه روش‌های پارامتری و غیر پارامتری تقسیم‌بندی می‌شوند. در روش‌های پارامتری با استفاده از روش‌های مختلف آماری و اقتصادسنجی تابع تولید مشخصی تخمین زده می‌شود. سپس با به کارگیری این تابع، نسبت به تعیین کارایی اقدام می‌گردد. گروه دوم روش‌های غیر پارامتری هستند. یکی از مهم‌ترین روش‌های غیر پارامتری روش تحلیل پوششی داده‌هاست. بیشترین کاربرد روش غیر پارامتری بر اساس مدل DEA انجام شده است (Taki et al., 2013). تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها یک روش غیر پارامتری برای تخمین توابع تولید است. در این روش هر یک از واحدها که آن واحدها را واحد تصمیم‌گیری (DMU) می‌نامند، در مقایسه با دیگر واحدها بررسی می‌شود و به همین خاطر امتیاز کارایی یک DMU یک امتیاز نسبی است. DEA دارای ۴ مدل اصلی زیر است:

۱- مدل بازگشت به مقیاس متغیر، ۲- مدل بازگشت به مقیاس افزایشی و ۳- مدل بازگشت به مقیاس کاهش. هر کدام از مدل‌های فوق دارای دو جهت مطالعه (خروجی محور- ورودی محور) هستند. مفهوم خروجی محور این است که به چه میزان خروجی‌ها را با ثابت نگه داشتن میزان ورودی‌ها افزایش داد تا واحد

که در آن E_M : انرژی ماشین در هکتار $(MJ ha^{-1})$ ، I : هم‌ارز انرژی ماشین $(MJ kg^{-1} yr^{-1})$ ، G : میزان وزن ماشین (kg) ، L : ساعات کاری در سال $(h yr^{-1})$ و A : سطح زیر کشت $(ha h^{-1})$ است. برای تعیین میزان انرژی معادل نهاده‌ها و ستانده‌ها از ضرایب انرژی متناظر استفاده شد. ضرایب انرژی برای نهاده‌ها و ستانده‌ها در جدول ۱ ارائه شدند.

جدول ۱- محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید محصولات
Table 1. Energy content of inputs and outputs in production

بخش Part	هم‌ارز انرژی (MJ/unit) Energy equivalence	واحد Unit	مرجع Reference
الف - ورودی Input			
ماشین‌ها Machine	62.70	h	Mousavi-Avval et al., 2011
سوخت Fuel	47.8	lit	(Kizilaslan, 2009)
کودهای شیمیایی Chemical Fertilizer (kg)			
نیتروژن Nitrogen	78.2		(F.A.O., 2000)
فسفات Phosphate	12.44		Rajabi-Hamedani et al., 2011
پتاسیم potassium	11.15		Mousavi-Avval et al., 2011
کود دامی Livestock manures	0.3	kg	(Kizilaslan, 2009)
سموم toxicant		kg	
علف‌کش Herbicide	85		Ozkan et al., 2004 Alam et al., 2005
آفت‌کش Pesticides	199		Ozkan et al., 2004
قارچ‌کش Fungicides	92		Ozkan et al., 2004 Nabavi-
آب Water	1.02	m ³	Pelesaraei et al., 2014
الکتریسیته Electricity	11.93	kWh	Mousavi-Avval et al., 2011
بذر Seed (kg)			
گندم Wheat	14.77		Mobtaker et al., 2010
کلزا Canola	25		(Kitani et al., 1999)
گشنیز Coriander	23		(Kitani et al., 1999)
ب - خروجی Out (kg)			
گندم Wheat	14.77		Mobtaker et al., 2010
کلزا Canola	25		(Kitani et al., 1999)
گشنیز Coriander	23		(Kitani et al., 1999)

با توپولوژی مناسب به کمک الگوریتم‌های آموزش از معیارهای ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده گردید (Rahman & Bala, 2010).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل شاخص‌های انرژی در تولید کلزا، گندم و گشنیز

تحلیل و مقایسه شاخص‌های انرژی در تولید محصولات مورد بررسی در منطقه نهاوند (جدول ۲) نشان داد کارایی انرژی در تولید کلزا، گندم و گشنیز به ترتیب ۰/۶۰، ۰/۹۱ و ۰/۵۰ است. با توجه به این که در این پژوهش میزان عملکرد دانه برای هر سه محصول به عنوان انرژی خروجی در نظر گرفته شده بود، شاخص بهره‌وری انرژی شاخصی جهت مقایسه روش‌ها و سامانه‌های تولید محصولات است، در واقع نشان-دهنده چگونگی مدیریت حاکم بر عوامل تولید یک محصول است که برای کلزا، گندم و گشنیز به ترتیب ۰/۶۰، ۰/۹۱ و ۰/۵۰ کیلوگرم بر مگا ژول برآورد شد. افزوده خالص انرژی در این پژوهش نشان داد که این شاخص در محصولات کلزا، گندم و گشنیز به ترتیب ۹۲۵۹۶۰-، ۱۲۱۷۱۸۲- و ۵۹۷۲۳۷/۷- مگا ژول بر کیلوگرم بود که حاکی از انرژی اذ دست‌رفته در تولید این محصولات در منطقه نهاوند بود که در این پژوهش محصول گشنیز کمترین اتلاف انرژی را در بین محصولات مورد بررسی در منطقه داشت.

تقسیم‌بندی انرژی ورودی شامل انرژی مستقیم، غیرمستقیم و تجدید ناپذیر در تولید محصولات کلزا، گندم و گشنیز منطقه نهاوند در شکل ۱ ارائه شده است. بر اساس این نتایج در محصول کلزا ۲۹/۰۹ درصد انرژی ورودی مربوط به انرژی مستقیم و ۷۰/۰۱ درصد مابقی مربوط به انرژی غیرمستقیم بود. میزان انرژی ورودی مستقیم در کشت گندم ۲۱/۰۳ درصد و ۷۸/۹۷ درصد مربوط به انرژی غیرمستقیم در کشت این محصول در منطقه نهاوند بود. بررسی سهم انرژی مستقیم در محصول گشنیز نشان داد که سهم انرژی مستقیم این محصول در منطقه نهاوند، ۴۹/۸ درصد انرژی ورودی کل بود و انرژی غیرمستقیم ۵۰/۲ درصد انرژی ورودی به مزرعه را تشکیل داد. بررسی نشان داد سهم انرژی تجدیدناپذیر ۹۹/۹ درصد بود. در کشت محصول گندم در منطقه نهاوند کشاورزان ۸۵/۵ درصد و برای تولید محصول گشنیز، ۸۸/۷ درصد از منابع انرژی تجدید ناپذیر استفاده می‌نمایند.

موردنظر به مرز کارایی برسد. یعنی بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر، می‌توان تولید را به این میزان افزایش داد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با مدل بازگشت به مقیاس ثابت CCR و مدل بازگشت به مقیاس متغیر BCC و به صورت ورودی محور انجام می‌شود؛ چراکه میزان بهره‌وری کشاورزان در درجه اول بستگی به کارایی عملیات‌های مختلف دارد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با مدل بازگشت به مقیاس ثابت CCR و مدل بازگشت به مقیاس متغیر BCC و به صورت ورودی محور انجام می‌شود؛ چراکه میزان بهره‌وری کشاورزان در درجه اول بستگی به کارایی عملیات مختلف دارد. به منظور انجام تحلیل‌ها از نرم‌افزارهای-DEA SOLVER و EMS13 استفاده گردید و مزارع از نظر میزان انرژی مصرفی و عملکرد تولیدشان مورد ارزیابی قرار گرفتند، واحدهای کارا و ناکارا مشخص شده و میزان مصرف نهاده‌ها در حالت بهینه محاسبه شد. در این تحقیق انرژی نهاده‌های مختلف به عنوان ورودی‌های مدل، میزان عملکرد محصول به عنوان خروجی مدل و هر کشاورز نیز یک واحد تصمیم‌گیری (DMU) در نظر گرفته شد.

۳-۲- مدل‌سازی انرژی مصرفی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

در این پژوهش تحلیل مدل شبکه عصبی مصنوعی مربوط به مصرف انرژی در محیط نرم‌افزار MATLAB R2014b انجام می‌شود. بدین منظور، نهاده‌های ماشین‌ها، سوخت دیزل، کودهای شیمیایی، کود دامی و سموم شیمیایی به عنوان ورودی مدل و انرژی عملکرد محصول تولیدی به عنوان خروجی مورد استفاده قرار گرفت. به دلیل ماهیت متفاوت مقادیر، داده‌های مورد بررسی برای استفاده در شبکه‌های عصبی با استفاده از رابطه (۱۱) بین اعداد ۰ تا ۱ نرمال شدند تا حساسیت شبکه عصبی حفظ شود.

$$X_{\text{normal}} = \frac{(x - x_{\text{min}})}{(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})} \quad (11)$$

سپس با بررسی تعداد لایه‌های مخفی، تعداد نرون‌ها و نوع توابع فعال‌سازی مختلف، بهترین مدل شبکه عصبی با توجه به R^2 ، RMSE و MAE برای هر محصول مشخص شد. در مرحله بعد با توجه به بهترین مدل انتخاب شده، به بررسی تحلیل حساسیت ورودی‌ها پرداخته شد تا مشخص گردد که چه عواملی بیشترین تأثیر و چه عواملی کمترین تأثیر را در میزان عملکرد محصولات مختلف در منطقه مورد بررسی دارند (Mousavi-Avval et al., 2011).

۳-۲-۹- انتخاب شبکه و نوع الگوریتم

در این پژوهش از الگوریتم آموزش لونیبرگ-مارکوارت (LM) برای بهنگام سازی وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد که از الگوریتم‌های پرکاربرد است. چون آموزش شبکه را بسیار سریع انجام داده و سطح خطای موجود را به حداقل می‌رساند. برای یافتن شبکه‌ای

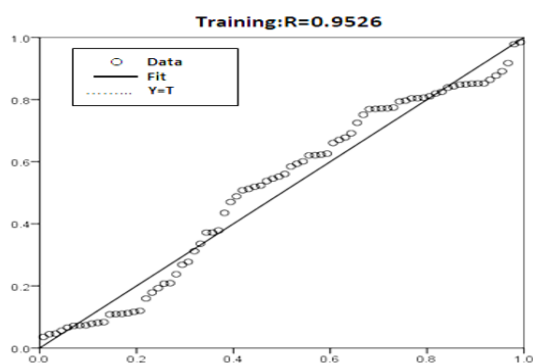
۳-۲- مدل رگرسیونی انرژی مصرفی کلزا، گشنیز و گندم

مدل رگرسیونی در منطقه نهاوند برای کلزا نشان داد که هیچیک از نهادهای مصرفی بر روی عملکرد به دست آمده در محصول معنی دار نیست. برای گشنیز مقدار ضریب تعیین برای مدل عملکرد $1/234$ اندازه گیری شد و برای گندم نشان داد که انرژی سموم شیمیایی در سطح ۱ درصد و انرژی کود در سطح ۵ درصد بر روی عملکرد محصول معنی دار بود. مدل رگرسیونی استخراج شده برای داده های کلزا، گشنیز و گندم به شرح رابطه ۱۲ است:

$$\ln Y = a_0 + \alpha_1 \ln X_1 + \alpha_2 \ln X_2 + \alpha_3 \ln X_3 + \alpha_4 \ln X_4 + \alpha_5 \ln X \quad (12)$$

۳-۳- مدل سازی انرژی مصرفی در کلزا، گشنیز و گندم

مقادیر همبستگی کلزا در مدل انرژی خروجی $0/95$ محاسبه شد. مقادیر RMSE و MAE به ترتیب $0/073$ و $0/055$ برآورد گردید. شکل ۲ توزیع داده های واقعی و پیش بینی شده توسط مدل پیشنهادی را برای کلزا نشان می دهد.



شکل ۲- ضریب همبستگی بین مقادیر پیش بینی شده و واقعی انرژی خروجی در تولید کلزا در منطقه نهاوند

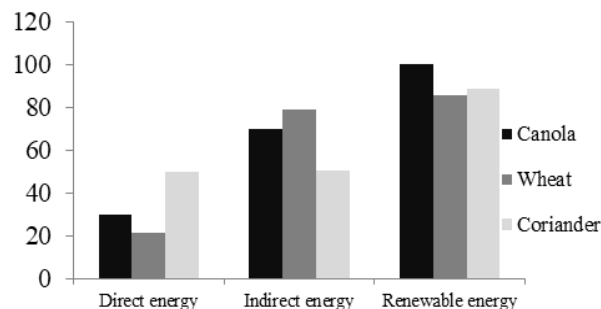
Figure 2. Correlation coefficient between predicted and actual values of energy output in rapeseed production in Nahavand region.

در مدل سازی شبکه عصبی برای محصول گشنیز منطقه نهاوند ضریب همبستگی انرژی خروجی $0/96$ برآورد شد. مقادیر RMSE و MAE به ترتیب $0/043$ و $0/046$ به دست آمد. شکل ۳ نیز توزیع داده های واقعی و پیش بینی شده توسط مدل مربوطه را نشان می دهد.

جدول ۲- نسبت انرژی ورودی به خروجی در تولید کلزا، گشنیز و گندم بر حسب kg MJ^{-1}

Table 2. Input-output energy ratio in rapeseed, coriander and wheat production in terms of kg MJ^{-1}

	کلزا Canola	گشنیز Coriander	گندم Wheat
کارایی انرژی Energy efficiency	0.60	0.50	0.91
بهره‌وری انرژی Energy efficiency	0.60	0.50	0.91
افزوده خالص انرژی Added net energy	-925960	-59723/7	-1217182
انرژی ویژه Special energy	17.02	21.42	13.28
انرژی مستقیم Direct energy	294343	3122.64	281592.5
انرژی غیرمستقیم Indirect energy	689643.9	59548.58	1057170
انرژی تجدید پذیر Renewable energy	804.06	708.34	19497.49
انرژی تجدید ناپذیر Renewable energy	983973.4	61962.88	1319265



شکل ۱- سهم انواع انرژی در تولید کلزا، گندم و گشنیز (تقسیم بندی انرژی ورودی)

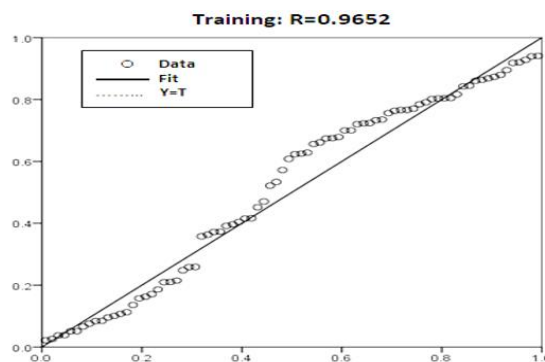
Figure 1. The share of energy in the production of rapeseed, wheat and coriander

برای تولید محصول گشنیز در منطقه مورد مطالعه نشان داد که برای هر هکتار ۶۲۶۷۱/۲۲ مگا ژول در هکتار انرژی مصرف می‌گردد که در این محصول بیشترین سهم انرژی مصرفی نهاده مربوط به نهاده سموم شیمیایی است. داده‌های این پژوهش با تحقیق (Alam et al., 2005) همخوانی داشت. بررسی شاخص‌های انرژی نشان داد که شاخص نسبت انرژی در سه محصول کلزا، گندم و گشنیز به ترتیب برابر ۰/۹۱، ۰/۶۰ و ۰/۵۰ برآورد گردید و شاخص انرژی ویژه نیز برای محصولات کلزا، گندم و گشنیز به ترتیب ۱۷/۰۲، ۱۳/۲۸ و ۲۱/۴۲ به دست آمد. (Hoshyar, 2009) نیز به نتایج مشابهی بر روی سایر محصولات دست یافت.

سهم انرژی مستقیم و غیرمستقیم برای محصول کلزا به ترتیب ۲۹۴۳۴۳ و ۶۸۹۶۴۳/۹ مگا ژول در هکتار بود. سهم انرژی مستقیم و غیرمستقیم در محصول گندم نیز به ترتیب ۲۸۱۵۹۲/۵ و ۱۰۵۷۱۷۰ مگا ژول در هکتار بود. در محصول گشنیز سهم انرژی مستقیم ۳۱۲۲/۶۴ مگا ژول در هکتار و سهم انرژی‌های غیرمستقیم در این محصول ۵۹۵۴۸/۵۸ مگا ژول برآورد شد. (Kitani et al., 1999) نیز این اعداد را نشان از بالا سهم انرژی بیان نمود. مدل رگرسیونی برای هر سه محصول نشان داد که عملکرد تمامی محصولات با نهاده‌های بذر، کود شیمیایی، سموم شیمیایی و سوخت مثبت بود. نتایج شبکه عصبی جهت مدل‌سازی انرژی برای کلزا ۳ لایه مخفی (آماره‌های R^2 : ۰/۹۵، RMSE: ۰/۰۷۲، MAE: ۰/۰۵۵)، برای گندم نیز ۳ لایه مخفی (آماره‌های R^2 : ۰/۹۸، RMSE: ۰/۴۳، MAE: ۰/۳۶) شناسایی کرد. (Mobtaker et al., 2010) نیز در تحقیق خود لایه‌های مخفی را برای محصولات خود بیان نمودند اما اعداد آن‌ها تفاوت بالایی با این اعداد داشت.

بهینه‌سازی مصرف انرژی با تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه‌های عصبی نشان داد که برای هر سه محصول کلزا، گندم و گشنیز کمتر از مقدار واقعی مورد استفاده در منطقه نهان بود و شبکه‌های عصبی از قابلیت بالاتری جهت تخمین مقدار بهینه انرژی مصرفی برای هر سه محصول مورد مطالعه در این پژوهش بود. در محصول کلزا مصرف کود شیمیایی و سموم شیمیایی بیشترین میزان ذخیره انرژی را خواهند داشت (مشابه تحقیق Alam et al., 2005). در گندم و گشنیز باید مصرف کود شیمیایی و سموم شیمیایی کاهش پیدا کند اما مصرف بذر افزایش یابد. مقدار کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس در مزارع کلزا به ترتیب ۰/۸۹، ۹۴ و ۰/۹۶ برآورد شد. از ۸۰ مزرعه کلزا در این پژوهش به ترتیب ۴۶ و ۲۸ باغ دارای کارایی فنی و کارایی فنی خالص کمتر از ۱ بودند. مصرف نهاده‌های بذر، کود شیمیایی، سموم شیمیایی و سوخت در مزارع ناکارا به ترتیب ۲/۶۴، ۲۸/۵۵، ۲۲/۰۴ و ۱۷/۹۳ درصد بیشتر از مزارع کارا بود (Hoshyar, 2009).

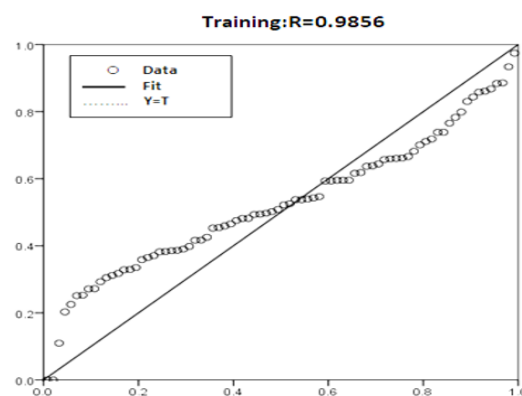
در صورت کارا شدن مزارع کلزا منطقه نهان، مقدار ۱۹/۸۷ درصد از انرژی کود شیمیایی، ۱۴/۱۳ درصد از انرژی سموم شیمیایی، ۱۰/۹۸ درصد از انرژی سوخت و ۱/۳۵ درصد از انرژی بذر در مجموع ۱۹/۱۶



شکل ۳- ضریب همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و واقعی انرژی خروجی در تولید گشنیز در منطقه نهاوند

Figure 3. Correlation coefficient and actual values of energy output in coriander production in Nahavand region

نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی برای محصول گندم نشان داد که ضریب همبستگی مدل انرژی خروجی ۰/۹۸ است. مقادیر RMSE و MAE برای مدل انرژی خروجی محصول گندم به ترتیب ۰/۰۹۲ و ۰/۰۷۲ برآورد شدند. شکل ۴ توزیع داده‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده توسط مدل پیشنهادی ارائه شده است.



شکل ۴- ضریب همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و واقعی انرژی خروجی در تولید گندم در منطقه نهاوند

Figure 4. Correlation coefficient between predicted and actual values of energy output in wheat production in Nahavand region

۴- نتیجه‌گیری

برای تولید یک هکتار کلزا در منطقه نهاوند ۹۸۴۳۷۵ مگا ژول در هکتار از انرژی منابع مختلف مصرف می‌گردد و نهاده کود شیمیایی با ۵۷/۶۶ درصد از کل انرژی مصرفی بالاترین سهم مصرف را در بین نهاده‌ها دارد. بررسی متوسط انرژی در محصول گندم نشان داد که در منطقه نهاوند ۱۳۳۸۷۶۲ مگا ژول در هکتار انرژی مصرف می‌گردد که در این محصول نیز نهاده کود شیمیایی بالاترین سهم مصرف انرژی را در بین سایر نهاده‌ها دارد. مطالعه انرژی مورد مصرف

شیمیایی با ۴/۰۲ درصد و بذر با ۲/۰۲ درصد از کل انرژی ذخیره شده، پس از کود شیمیایی در رتبه‌های دوم تا سوم قرار گرفتند. نهاده‌های سموم شیمیایی و بذر سهم کمی در بهینه‌سازی انرژی ورودی را داشتند (Fathi et al., 2019).

در این روش مطابق سایر پژوهش‌ها در این زمینه نشان داده شد که شبکه عصبی مصنوعی از دقت خوبی در مدل‌سازی برخوردار است (Rahmatian et al., 2019).

درصد از کل انرژی ورودی می‌تواند بدون هیچ تغییر در عملکرد، مصرف انرژی را کاهش دهد. میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس برای مزارع گندم منطقه نه‌اوند به ترتیب برابر ۰/۸۹۸، ۰/۸۲۸ و ۰/۹۴۵ محاسبه شد. ناکارایی مزارع نشان از این موضوع است که کشاورزان این مزارع از روش‌های صحیح تولید آگاه نیستند یا نهاده‌های مختلف در زمان و میزان بهینه مصرف نکرده‌اند (Fathi et al., 2019). انرژی ذخیره توسط نهاده‌های سوخت با ۱۵/۹۸ درصد، سموم

۵- منابع

- Alam, M.S., Alam, M.R., and Islam, K.K. (2005). *Energy flow in agriculture*. Bangladesh American journal of environmental science, 1(3): 213-220.
- Almasi, M., Kiyani, S.H., and Loyemi, N. (2008). *Fundamentals of Agricultural Mechanization*. Jangal Publication. Fourth edition. 293 pages.
- Camargo, G.G., Ryan, M.R., and Richard, T.L. (2013). *Energy use and greenhouse gas emissions from crop production using the farm energy analysis tool*. BioScience 63: 263-273.
- Dalgaard, T., Halberg, N., and Porter, J.R. (2001). *A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming*. J. agri. Eco. Environ. 87:51-65
- Fathi, R., Amjadpour, F., Kuchakzadeh, A., and Azizpanah, A. (2019). *Model and efficiency of energy consumption of dryland wheat production using data envelopment analysis approach, a case study of Chardavol city, Ilam province*. Iranian Journal of Dryland Agriculture. 7 (1): 33-46.
- Ghobadi, M.I., and Fattahi, S. (2016). *Investigation of the effect of moisture density and stress on growth characteristics, yield and oil content of coriander (Corian drum Sativum L.)*. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 32 (5): 924-935.
- Hamzehpour, G., Repentance, A., and Sheikhzadeh, P. (2017). *Study of correlation and regression analysis between quantitative and qualitative traits in different cultivars of rapeseed (Brassica napus L.) in different planting arrangements*. Journal of Plant Echo Physiology. 9 (31): 158-179.
- Hatirli, S.A., Ozkan, B., and Fert, C. (2006). *Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production*. Renew energy 31: 427-38.
- Hoshyar, A. (2009). *Comparison of energy consumption in wheat and rapeseed production in two regions of Fars province*. Master Thesis of Shahid Chamran University.
- Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R.M., and Ramdani, A. (1999). *CIGR handbook of agricultural engineering Energy and biomass engineering (V. 5)*. ASAE.
- Kizilaslan, H. (2009). *Input-output energy analysis of cheey production in Tokat province of turkey*. J. applied energy. 86: 1354-1358.
- MirHaider, H. (1993). *Plant Education, Islamic Culture Publishing House*. Tehran: first edition.
- Mobtaker, H.G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., and Akram, A. (2010). *Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran*. Agriculture, Ecosystems and Environment 137: 367-372.
- Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A., and Mohammadi, A. (2011). *Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran*. Journal of Cleaner Production 19: 1464-1470.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., and Rafiee, S. (2014). *Neural network modeling of energy use and greenhouse gas emissions of watermelon production systems*. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.
- Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., and Chervet, A. (2013). *Life cycle assessment of swiss farming system II. Extensive and intensive production*. J. Agri. Sys. 104:233-245.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., and Karadeniz, F. (2004). *Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey*. Energy Conversion and Management 45: 1821-1830.

- Rahmatian, M., Yeganeh, R., and Nematollahi, M. A. (2019). *Modeling and forecasting forces on reversible plow using two methods of response surface and artificial neural network*. *Agricultural Machinery*, 10 (2), 169-185.
- Rahman, M.M., and Bala, B.K. (2010). *Modeling of jute production using artificial neural networks*. *Biosyst. Eng.* 105:350-356.
- Rajabi-Hamedani, S.R., Shabani, Z., and Rafiee, S. (2011). *Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran*. *Energy*. 36:2367–2371.
- SaberFar, F., and Zamanian, A. (2012). *Agriculture, the economic basis of Nahavand city development*. *Farhangian* (41). 142-132.
- Singh, G. (2006). *Estimation of a Mechanization Index and Its Impact on Production and Economic Factors*. A Case Study in India. *Biosystems Engineering*, 93(1): 99-106.
- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsidig, E., Haberl, H., Harper, R., House, J., and Jafari, M. (2014). *Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Taki, M., Abdi, R., Akbarpour, M., and Mobtaker, H. G. (2013). *Energy inputs–yield relationship and sensitivity analysis for tomato greenhouse production in Iran*. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(1), pp.59-67.