یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

مدلسازی مصرف انرژی در تولید محصول آفتابگردان روغنی شهرستان خوی با استفاده از سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)

حسین لطفعلی‌نژاد[1]، ولی رسولی شربیانی[2]، ابراهیم تقی‌نژاد[3]

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد ، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی؛hosein.lo1360@gmail.com

[2] استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی؛ vrasooli@uma.ac.ir

[3] استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی؛ e.taghinezhad@uma.ac.ir

چکیده

این مطالعه به منظور تجزیه و تحلیل و مدلسازی انرژی مصرفی در تولید آفتابگردان روغنی با بهره‌گیری از سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی(انفیس)در جریان تولید آفتابگردان روغنی در شهرستان خوی صورت گرفت. اطلاعات مورد نیاز از ۱۴۰ تولیدکننده آفتابگردان با استفاده از مصاحبه رو در رو با کشاورزان و تکمیل پرسشنامه های تخصصی جمع آوری شدند. نهاده‌های ورودی شامل نیروی انسانی، ماشین آلات، بذر، سوخت، سموم شیمیای، کود و آب آبیاری و خروجی آفتابگردان و کاه بود. بررسی نتایج نشان داد که کل انرژی مصرفی و خروجی به ترتیب و ۳۱۰۰۱/۶۱ و ۲۴۶۶۶۶/۶۷ مگاژول برهکتار می‌باشد. سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی چند سطحی به منظور مدلسازی مصرف انرژی بکار گرفته شد و ضریب همبستگی(R^2) و میانگین درصد خطای مطلق(MAPE) بهترین مدل انفیس برای پیش‌بینی انرژی خروجی به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۴۲به دست آمد و نشان داد که انفیس چند سطحی به دلیل سرعت و دقت بالا آن، ابزاری مفید برای مدیران به منظور پیش‌بینی انرژی خروجی سامانه‌های تولید محصولات کشاورزی در مقیاس بزرگ در بخش کشاورزی است.

کلمات کلیدی: آفتابگردان، انفیس، انرژی خروجی، انرژی ورودی، مدلسازی.

Energy consumption modeling in sunflower production in Khoy city by using adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS)

Hossain Lotfalinezhad[1], Vali Rasooli Sharabiani[2], Ebrahim Taghinezhad[3]

[1]MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, hosein.lo1360@gmail.com

[2]Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, vrasooli@uma.ac.ir

[3]Assistant Professor, Department of Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture and Natural Resources (Moghan Campus), University of Mohaghegh Ardabili, e.taghinezhad@uma.ac.ir

ABSTRACT

This study aimed to analyze and modeling of energy consumption in sunflower production by using adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) during the production of sunflower in the Khoy city. The required information was collected through face-to-face interviews with 140 farmers and completed specialized questionnaires. Input included Human labor, Machinery, seed, fuel, Pesticides, fertilizer and Water for irrigation, and output was sunflower and straw. The results showed that, total input and output energy is 31001.61 and 246666.67 MJ ha^{-1}, respectively. Multi-level adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) was used for modeling energy flow in studied fields. The correlation coefficient (R^2) and mean absolute error percentage (MAPE) of the best model of the ANFIS for predicting the output energy was 0.97 and 0.42, respectively and indicate that the multi-level ANFIS is a useful tool to managers for large-scale planning in forecasting energy output of agricultural production systems owing to its higher speed of computation processes and higher accuracy.

Keywords: Sunflower; ANFIS; Input energy; Output energy; Modeling.

۱- حسین لطفعلی‌نژاد؛ اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی؛ تلفن: ۰۹۹۰۷۶۵۳۰۶۷

۱- مقدمه

امروزه بخش کشاورزی به منظور پاسخگویی به نیاز روز افزون مواد غذایی برای جمعیت رو به رشد کره زمین و فراهم نمودن غذا کافی و مناسب، به میزان زیادی به مصرف انرژی وابسته است. پیش‌بینی می‌شود که جمعیت جهان تا سال ۲۰۴۰ حداقل به ۱۰ میلیارد نفر برسد و طبق آخرین آمار ذخایر نفت جهان تا حدود ۴۰ سال دیگر به اتمام خواهد رسید لذا، با توجه به محدود بودن منابع طبیعی از یک سو و اثرات سوء ناشی از استفاده نامناسب از منابع مختلف انرژی روی سلامتی انسان و محیط زیست از سوی دیگر، لزوم بررسی الگوهای مختلف انرژی را در بخش کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد (Hatirli, et al. 2005)

بخش کشاورزی هم به عنوان مصرف‌کننده و هم تولیدکننده انرژی شناخته می‌شود. بررسی عوامل مؤثر بر افزایش انرژی مصرفی(ورودی) در تولید محصولات کشاورزی، می‌تواند راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی را نمایان سازد. بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی به دلیل کاهش مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای انرژی ورودی به سامانه و کاهش اثرات زیست‌محیطی آن، اهمیت مضاعف پیدا می‌کند(Alam, et al. 2005). مقدار انرژی که در سیستم‌های مختلف تولیدی زراعی مصرف می‌شود، نه فقط به نوع آن محصول بلکه به نوع مواد به کار گرفته شده در تولید آن محصول نیز وابسته است. به گونه‌ای که نحوه رفتار سیستم‌های مختلف زراعی در به‌کارگیری نهاده‌ها و منابع انرژی متفاوت بوده و در هر سیستم تولیدی کارایی انرژی حاصله متفاوت است؛ به‌نحوی که می‌تواند منجر به ناپایداری کشاورزی گردد . اگر افزایش مصرف انرژی در بخش کشاورزی ادامه پیدا کند، تنها شانس تولیدکنندگان برای افزایش محصول کل، استفاده از نهاده بیشتر به جای گسترش زمین‌های قابل کشت خواهد بود . لذا مصرف انرژی در کشاورزی به صورت یک مساله درآمده است(راعی جدیدی و همکاران، ۱۳۸۹). یکی از روش‌های بسیار مفید در تحلیل و ارزیابی پایداری کشاورزی ، استفاده از انرژی به عنوان ابزار محاسبه می‌باشد(Erdal, et al. 2007). تحت این شرایط تجزیه و تحلیل داده-ستانده از نقطه نظر انرژی برای سیاست‌گذاران و طراحان فرصتی را فراهم می‌سازد تا فعل و انفعالات مصرف انرژی ارزیابی نمایند.

در میان گیاهان زراعی، آفتابگردان به عنوان یکی از محصول مهم دنیا، که در گستره‌ی وسیعی از عرض‌های جغرافیایی و شرایط اقلیمی کشت و کار می‌گردد، اهمیت بسیار زیادی از نظر تولید انرژی دارد (FAO, 2005). در این بین ایران نیز با تولید بیش از ۱۳هزار تن دانه آفتابگردان روغنی در سال از کشورهای مهم تولید این محصول محسوب می‌شود، بر اساس آخرین آمار موجود، سطح زیر کشت آفتاب‌گردان در کشور ۱۲۲۹۶هکتار می‌باشد که در این بین استان آذربایجان غربی با ۳۲۲۵هکتار بیش‌ترین سطح زیر کشت این محصول در کشور را به خود اختصاص داده است. با این حال با وجود پتانسیل بسیار بالای استان آذربایجان غربی و شهرستان خوی در کشت این محصول به علت عملکرد پایین(۱۰۸۷کیلوگرم در هکتار) (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵) از ارزش اقتصادی پایینی برخوردار است و باید به دنبال راهکاری برای افزایش آن بود.

در سال‌های اخیر، برخی از سیستم‌های هوشمند نظیر سیستم استنتاج عصبی-فازی(ANFIS) جهت محاسبات تکمیلی با موفقیت همراه بوده است و تکنیک‌های جدید به نام محاسبات نرم و یا هوش محاسباتی توسعه یافته‌اند. امروزه از این تکنیک در بسیاری از زمینه ها از جمله طبقه بندی، تشخیص الگو، پیش بینی و مدل‌سازی فرآیندها در علوم مختلف بکار گرفته می‌شوند. مزیت این روش‌ها یادگیری مستقیم از روی داده‌ها، بدون نیاز به برآورد مشخصات آماری آن‌ها است(Tahmasebi, et al., 2017).

خوشنویسان و همکاران(Khoshnevisan et al., 2013) برای پیش‌بینی عملکرد گندم، مدل انفیس چند لایه با پنج گروه پارامتر ورودی برای انفیس‌های یک تا پنج و خروجی انفیس‌های یک تا پنج به عنوان ورودی مدلهای شش و هفت و خروجی انفیس‌های شش و هفت به عنوان ورودی انفیس شماره هشت و خروجی انفیس هشت به عنوان عملکرد گندم در نظر گرفتند و مدل پیشنهادی آن‌ها عملکرد گندم را با ضریب همبستگی ۰/۹۷۶، جذر میانگین مربعات خطا ۰/۰۴۶ و میانگین درصد خطای مطلق ۰/۴ پیش‌بینی کرده است.

خوشنویسان و همکاران(Khoshnevisan et al., 2014) چندین مدل انفیس چند سطحی را به منظور پیش‌بینی عملکرد سیب‌زمینی بر اساس انرژی‌های ورودی توسعه دادند و در نهایت بهترین مدل را انتخاب نمودند که مشخصات آماری بهترین مدل پیشنهادی آن‌ها یعنی R، RMSE و متوسط درصد خطای مطلق(MAPE) به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۰۲۹ و ۰/۲ بود.

نبوی-پیله‌سرایی و همکاران (Nabavi-Pelesaraei, et al., 2018) از ادغام روش‌های هوش مصنوعی (شبکه های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی تطبیقی) و ارزیابی چرخه حیات به منظور پیش‌بینی انرژی خروجی و اثرات زیست محیطی تولید برنج در استان گیلان استفاده

نمودند. در این پژوهش مقادیر انرژی ورودی و خروجی به ترتیب ۵۱۵۸۵/۶۱ و ۶۶۱۱۲/۹۴ مگاژول بر کیلوگرم محاسبه شد. نتایج همچنین نشان داد که در تولید برنج، انتشارات مزرعه‌ای در گرمایش جهانی، اسیدسازی و اوتریفیکاسیون موثر است. شبکه عصبی مصنوعی با ساختار ۱-۸-۶-۱۲ به عنوان بهترین روش برای پیش‌بینی انرژی خروجی انتخاب شد. ضریب همبستگی داده‌های آزمون برای انرژی ورودی و اثرات زیست محیطی از ۰/۵۲۴ تا ۰/۹۹۹ بود. در این پژوهش همچنین یک مدل انفیس برا ساس یک الگوریتم ترکیبی با ضریب همبستگی ۰/۸۶۰ برای پیش‌بینی انرژی خروجی و ۰/۹۴۴ تا ۰/۹۹۷ برای اثرات زیست محیطی توسعه یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که با وجود دقت بالاتر شبکه عصبی، انفیس چند سطحی به دلیل سرعت بالاتر ابزاری مفیدتر برای پیش‌بینی انرژی خروجی و اثرات زیست محیطی در مقایس بزرگ در بخش کشاورزی است. در پژوهش حاضر جریان انرژی در مزارع آفتابگردان روغنی این شهرستان مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

باتوجه به بررسی مطالعات انجام شده، تجزیه و تحلیل انرژی و محاسبه شاخص‌های انرژی برای محصول آفتابگردان روغنی نسبت به دیگر محصولات در ایران کمتر انجام شده و پیش بینی مقدار تولید و انرژی آفتابگردان روغنی با استفاده از سامانه انفیس قبلا انجام نشده است همچنین با توجه به اینکه استان آذربایجان غربی و مخصوصا شهرستان خوی از قطب‌های اصلی تولید کننده آفتابگردان روغنی در ایران است، این مطالعه انجام گردید. هدف از این مطالعه، تجزیه و تحلیل انرژی های مصرفی و تولیدی، مدل سازی انرژی و مقدار تولید آفتابگردان روغنی با بهره‌گیری از سامانه انفیس و ارائه بهترین مدل می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی محل انجام تحقیق

شهرستان خوی با وسعتی در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر مربع درشمال غربی ایران و در شمال غربی استان آذربایجان غربی بین ۳۸ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۵ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قراردارد. این شهرستان از شمال به ماکو و از شرق به مرند و از جنوب به سلماس و از مغرب به کشور ترکیه منتهی می‌شود و دارای ۴ بخش و ۵ شهر و۱۱ دهستان و ۲۲۲ روستا می باشد.

چگونگی جمع آوری اطلاعات

اطلاعات مورد نیاز این پژوهش از طریق مراجعه حضوری وتکمیل پرسشنامه توسط کشاورزان آفتاب‌گردان شهرستان خوی صورت خواهد گرفت. در این مطالعه از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده دو مرحله‌ای استفاده شد. کشاورزان به صورت تصادفی از بین روستاییان منطقه مورد مطالعه انتخاب و برای پیدا کردن حجم نمونه از رابطه کوکران (Cochran, 2007) به صورت زیر استفاده شد:

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

که در این رابطه n حجم نمونه که در این مطالعه مقدار ۱۴۰ به دست آمد، N اندازه جامعه آماری تعداد زارعین آفتاب‌گردان منطقه، t ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t-استیودنت به دست می‌آید. S^2 برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه که در اینجا واریانس تعادل انرژی‌های ورودی و خروجی در منطقه مورد مطالعه است و d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) است. پس از جمع آوری اطلاعات، میانگین هر یک از متغیر ها محاسبه و با توجه به معادل‌های انرژی که از منابع مختلف جمع‌آوری شده بودند (جدول۱) برحسب مگاژول در هکتار تبدیل شدند.

متغیر نیروی انسانی، از مجموع ساعات نیروی کارگری که صرف عملیات‌های مختلف زراعی از جمله شخم، دیسک، تسطیح، مرزبندی، کاشت بذر، کودپاشی، سم پاشی، آبیاری، برداشت و حمل و نقل می‌شود، محاسبه شد. نهاده ماشین آلات به عنوان یکی از متغیرهای ورودی به مزرعه، شامل ساعات کار ماشین آلات و ادواتی می‌باشد که از کاشت تا برداشت و حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقدار گازوئیلی و روغنی که جهت سوخت ماشین آلات مختلف برای شخم، کاشت، آبیاری، کودهی، برداشت و نیز حمل و نقل در یک هکتار مزرعه آفتابگردان مورد استفاده قرار می‌گیرد، در زیر مجموعه متغیر سوخت قرار گرفت. یکی از مهم‌ترین متغیرهای ورودی به بوم نظام های کشاورزی کودهای شیمیایی است. مقادیر این کودها به صورت خالص در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر مصرف سموم کشاورزی شامل علفکش‌ها، قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه نیز جمع‌آوری شد و تحت متغیر سموم شیمیایی ارزیابی شد. یکی از نهاده‌های ورودی در منطقه آب است که با استفاده از ضریب تبدیل مقدار آب به انرژی ورودی آب آبیاری برحسب مگاژول در هکتار بدست آمد و به عنوان یک متغیر مستقل وارد شد. مقدار بذر مصرفی در هر هکتار مزرعه آفتابگردان روغنی نیز ثبت و پس از ضرب در واحد تبدیل آن بصورت مگاژول در هکتار محاسبه شد. عملکرد دانه و میزان کاه و کلش نیز به عنوان انرژی‌های خروجی مزارع مختلف ثبت شد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

جدول ۱- معادل های مقادیر انرژی ورودی و انرژی خروجی در مزارع آفتابگردان روغنی

Table 2. Energy equivalent of inputs and outputs in sunflower fields

Variable	Unit	Energy equivalent(MJ/unit)	References
Input energy			
Human labor	h	1.96	Uzunoz et al., 2008
Tillage, Spraying and fertilizing Machinery	h	62.70	Singh et al., 2002; Singh et al., 2003
Transportation	h	29.80	Fluck, 1992; Biondi et al., 1987;
Fuel	L	56.31	Singh et al., 2002; Singh et al., 2003
Nitrogen Fertilizer	Kg	75.40	Uzunoz et al., 2008
Phosphorus Fertilizer	Kg	10.90	Uzunoz et al., 2008
Potassium Fertilizer	Kg	9.90	Uzunoz et al., 2008
Farmyard manure	Kg	0.3	Singh et al., 2002; Ozkan, et al. 2004
Other fertilizers (micronutrient)	Kg	120	Singh and Mittal., 1992
Insecticide	L	237	Hülsbergen et al., 2001
Fungicide	L	196	Hülsbergen et al., 2001
Herbicide	L	288	Hülsbergen et al., 2001
Water for irrigation	m^3	0.63	Uzunoz et al., 2008
Seed	Kg	3.60	Ozkan et al., 2004
Output energy			
Grain	Kg	25	Hatirli et al., 2005
Straw	Kg	12.5	Singh and Mittal., 1992

سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی(انفیس)

به منظور توانمند ساختن یک سیستم که با عدم قطعیت شناختی سروکار دارد، شبکه‌های عصبی با منطق فازی ترکیب شده‌اند و یک اصطلاح علمی جدیدی ایجاد کرده‌اند که روش عصبی-فازی نامیده می‌شود. در یک انفیس استاندارد، ۲، ۳ یا ۴ متغیر ورودی وارد شبکه می‌شوند و خروجی یک مدل است (Khoshnevisan et al., 2015). با این حال تعداد ورودی‌ها به عدد ۵ محدودیت می‌شود و افزایش ورودی‌ها از این تعداد منجر به افزایش تعداد قواعد و زمان محاسبات شده و قادر به مدل سازی خروجی‌ها با توجه به این ورودی‌ها نیست (Mousavi-Avval et al., 2017). برای غلبه بر این محدودیت می‌توان از روش‌هایی چون خوشه‌بندی داده‌ها استفاده کرد (Khoshnevisan et al., 2015). در این مطالعه، نهاده‌های ورودی مطابق شکل۱ دو به دو با هم ترکیب و هر کدام وارد یک شبکه انفیس استاندارد شدند. در مرحله دوم، انفیس ۵، ترکیب مقادیر پیش‌بینی‌شده انفیس ۱ و ۲ و انفیس ۶ ترکیب انفیس ۳ و ۴ مقادیر پیش‌بینی‌شده بود. در مرحله آخر، مقادیر پیش‌بینی شده انفیس ۵ و ۶ به عنوان ورودی انفیس ۷ ترکیب شدند و خروجی انفیس ۷ به عنوان مقدار پیش‌بینی شده انرژی خروجی کشت آفتابگردان روغنی بود. برای مقایسه دقت انفیس‌های مختلف در روند مدل سازی شاخص‌های آماری ضریب همبستگی (R^2) و میانگین درصد خطای مطلق(MAPE) مربوط به هر کدام از انفیس‌های ۱ تا ۷ با هم مقایسه شدند. تمام انفیس‌ها با توابع عضویت مثلثی (trimf)، زنگوله‌ای (gbellmf) و گوسی (gaussmf) با استفاده از نرم افزار MATLAB 2017 تعداد ورودی دو و سه مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند و برای تجزیه و تحلیل داده‌هاو و رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

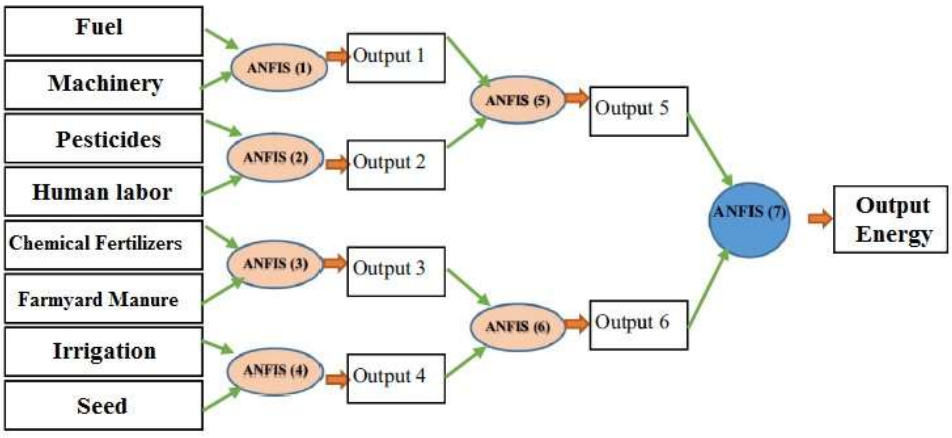

Fig. 1. Three level ANFIS structure to predict output energy of sunflower production.

شکل ۱- ساختار انفیس سه سطحی برای پیش‌بینی انرژی خروجی محصول آفتابگردان روغنی

۳- نتایج و بحث

ورودی‌های مورد استفاده در تولید و خروجی مزارع آفتابگردان روغنی و معادلات انرژی آن‌ها در جدول ۳ و سهم هریک از ورودی و خروجی‌ها در مقادیر انرژی ورودی و خروجی در شکل ۱ نشان داده شده است.

کل انرژی مورد نیاز برای تولید آفتابگردان روغنی ۳۱۰۰۱/۶۱ مگاژول در هر هکتار بود. در بین ورودی‌های مختلف کودهای شیمیایی با ۱۶۳۶۹/۸۳مگاژول در هکتار(٪۵۲/۸) بیش‌تری سهم را از انرژی‌های ورودی به مزارع آفتابگردان روغنی داشت. دومین ورودی پر مصرف سوخت با نرخ متوسط ۱۴۵/۱۶ لیتر در هکتار ٪۲۵/۷۴ کل انرژی مصرف در مزارع را به خود اختصاص داده بود. همچنین با توجه به آن که بخش بسیار زیادی از عملیات کشت آفتابگردان در خوی با استفاده از ماشین آلات صورت می‌گیرد، ماشین آلات نیز با ٪۸/۴۲ (۲۶۱۰/۲۰مگاژول در هکتار) سومین نهاده پرمصرف در تولید آفتابگردان در منطقه مورد بررسی بود. کشت آفتابگردان در شهرستان خوی تماما به صورت آبی بوده و به طور متوسط در هر فصل زراعی اراضی آفتابگردان در این منطقه با ۳۲۷۱/۲ لیتر آب آبیاری می‌گردد که معادل ٪۶/۶۵ از انرژی ورودی این محصول است. سموم کشاورزی نیز سهمی ٪۶/۶۵ (۱۴۲۵/۶۷ مگاژول در هکتار) از انرژی ورودی کشت آفتابگردان روغنی را در منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین در بین سموم مختلف علف‌کش‌ها (عموما سم پاراکوات) با متوسط ۳/۳۳ لیتر در هر هکتار(٪۳/۱۰) بیش‌ترین سهم را در بین سموم مختلف داشت. نیروی انسانی نیز با ۵۰۹/۷۶ مگاژول بر هکتار، ٪۱/۶۴ از انرژی‌های ورودی به مزارع آفتابگردان روغنی را در شهرستان خوی به خود اختصاص داده بود و در این بین عملیات برداشت با ٪۱/۲۷ بیش‌ترین سهم را از نیروی کارگری مورد استفاده را داشت.

جدول ۲-مقادیر انرژی‌های ورودی و خروجی در مزارع آفتابگردان روغنی شهرستان خوی

Table 2. Amounts of inputs and outputs in Sunflower fields of Khoy townships

Energy sources	Quantity used per Hectare	Total energy($MJ.Ha^{-1}$)
	Input energy	
Human labor	260.08	509.76
Machinery	51.25	2610.20
Fuel	145.16	7980.28
Fertilizers	532.17	16369.83
Pesticides	5.5	1425.67
Water for irrigation	3271.2	2060.86
Seed	12.5	45
	Output Energy	
Grain	1950	48750
Straw	15833.33	197916.67

برای مدلسازی انرژی تولیدی محصول آفتابگردان روغنی از توابع عضویت مختلف شامل trimf، gbellmf وgaussmf استفاده شد. مشخصات بهترین مدل جهت مدلسازی برای انفیس‌های در جدول ۳و همبستگی مقادیر پیش‌بینی شده و محاسبه‌شده برای انفیس نهایی در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که شاخص‌های آماری R^2 و MAPE برای برای انفیس نهایی به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۴۲ است و نشانگر توانایی بالای انفیس چند سطحی در پیش‌بینی مقدار انرژی تولید شده در کشت آفتابگردان روغنی در شهرستان خوی می‌باشد. نتایج مشابه برای پیش‌بینی انرژی خروجی در کشت کلزا (Mousavi-Avval et al., 2017) و نخود دیم (ghaderpour, et al., 2017) نیز گزارش شده و نشان دهنده توانایی بالای انفیس چند لایه در پیش‌بینی مصرف انرژی در کشت بوم‌ها است.

جدول ۳-پارامترهای خطا برای پیش بینی انرژی خروجی آفتابگردان با بکارگیری انفیس سه سطحی

Table 3. Error parameters for prediction of output energy of Sunflower by applying three-level ANFIS.

ANFIS model	Type of MF		Number of MF		Learning method	R^2	MAPE
	Input	Output	Input	Epoch			
ANFIS 1	Gbell	Linear	3,3	20	Hybrid	0.60	1.17
ANFIS 2	Gbell	Linear	3,3	20	Hybrid	0.24	1.58
ANFIS 3	Gbell	Linear	3,3	20	Hybrid	0.80	0.80
ANFIS 4	Gbell	Linear	3,3	20	Hybrid	0.83	0.79
ANFIS 5	Gbell	Linear	3,3	20	Hybrid	0.93	0.51
ANFIS 6	Gbell	Linear	3,3	20	Hybrid	0.93	0.57
ANFIS 7	Gbell	Linear	3,3	20	Hybrid	0.97	0.42

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

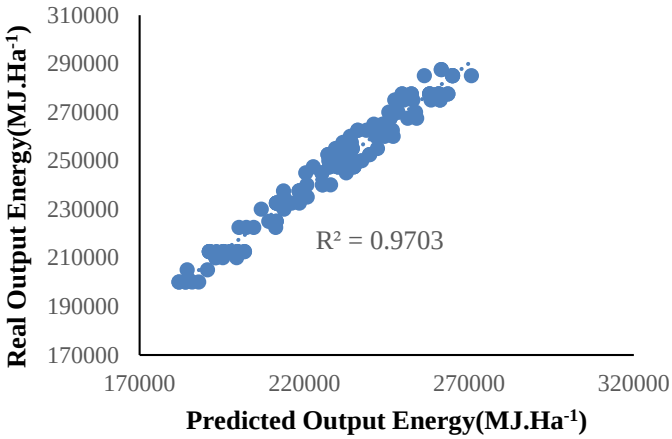

Fig 2. Cross-correlation of predicted and observed output Energy of Sunflower
شکل ۲- همبستگی مقادیر پیش‌بینی شده و محاسبه شده انرژی خروجی آفتابگردان روغنی

۴- نتیجه‌گیری

با مطالعه روند جریان انرژی در کشت بوم‌های آفتابگردان روغنی شهرستان خوی مشخص گردید میزان انرژی ورودی و خروجی به این کشت بوم‌ها به ترتیب ۳۱۰۰۱/۶۱ و ۲۴۶۶۶۶/۶۷ مگاژول بر هکتار می‌باشد. در بین نهاده‌های مصرفی بیش‌ترین سهم از کل انرژی ورودی به ترتیب مربوط به کود شیمیایی (۴۳/۹۸٪)، سوخت مصرفی (۲۵/۷۴٪) و ماشین آلات (۸/۴۲٪) بود. نتایج پیش‌بینی انرژی خروجی کشت آفتابگردان در شهرستان خوی نشان داد که انفیس چند سطحی به دلیل سرعت و دقت بالا آن، ابزاری مفید برای مدیران به منظور پیش‌بینی انرژی خروجی سامانه‌های تولید محصولات کشاورزی در مقیاس بزرگ در بخش کشاورزی است.

مراجع

Alam, M. S., Alam, M. R., & Islam, K.K. (2005). Energy flow in agriculture: Bangladesh. *American Journal of Environmental Sciences*, 1(3), 213-220.
Biondi, P., Farina, G., & Panaro, V. (1987). Energy analysis in agriculture. *Riv. di Ing. Agr*, *4*, 205-219.
Cochran, W. G. (2007). *Sampling techniques*. John Wiley & Sons.
Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., & Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32(1), 35-41.
FAO. (2005). Food and agriculture organization of the United Nations, statistical databases, agriculture,agricultural production, crops primary. Available from: http://www. fao.org.
Fluck, R. C. (Ed.). (2012). *Energy in farm production*. Elsevier.
Ghaderpour, O., & Rafiee, S. (2017). Analysis and modeling of energy and production of dryland chickpea in the city of Bukan. *Iranian Journal of Biosystems Engineering, 47(4),* 711-720. (Persian)
Hatirli, S. A., Ozkan, B., & Fert, C. (2005). An econometric analysis of energy input–output in Turkish agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *9*(6), 608-623.
Hülsbergen, K. J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G. W., Kalk, W. D., & Diepenbrock, W. (2001). A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *86*(3), 303-321.
Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Iqbald, J., Shamshirbande, S., Omid, M., Anuarf, N. B., & Abdul Wahabg, A. W. (2015). A Comparative Study between Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-fuzzy Inference Systems for Modeling Energy Consumption in Greenhouse Tomato Production-A Case Study in Isfahan Province. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *17*(1), 49-62.
Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2014). Prediction of potato yield based on energy inputs using multi-layer adaptive neuro-fuzzy inference system. *Measurement*, *47*, 521-530.
Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., & Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, *52*, 333-338.
Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Sharifi, M., Hosseinpour, S., & Shah, A. (2017). Combined application of Life Cycle Assessment and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for modeling energy and environmental emissions of oilseed production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *78*, 807-820.

Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K. W. (2018). Integration of artificial intelligence methods and life cycle assessment to predict energy output and environmental impacts of paddy production. *Science of the Total Environment*, 631, 1279-1294.

Ozkan, B., Kurklu, A., & Akcaoz, H. (2004). An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass and Bioenergy*, *26*(1), 89-95.

Singh, H., Mishra, D., & Nahar, N. M. (2002). Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India—part I. *Energy Conversion and Management*, *43*(16), 2275-2286.

Singh, H., Mishra, D., Nahar, N. M., & Ranjan, M. (2003). Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone India: part II. *Energy Conversion and Management*, *44*(7), 1053-1067.

Singh, S., & Mittal, J. P. (1992). *Energy in production agriculture*. Mittal Publications.

Tahmasebi, m., Golmohammadi, A., & Tabatabaei-kolor, R. (2017). Measuring of Paddy mass flow using capacitive sensor and modeling with using multiple regression, ANN, and ANFIS models. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *47(2)*, 221-227. (Persian)

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران