

بررسی الگوی مصرف انرژی و کاربرد تکنیک عصبی - فازی در مدل‌سازی عملکرد محصولات علوفه‌ای

زینب رمدانی^{۱*}، رضا عبدی^۲، محمود امید^۳ و محمدعلی میسمی^۴

۱، ۲ و ۴ - به ترتیب: دانش‌آموخته دکتری؛ دانشیار؛ و استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳: استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۱۴

چکیده

داشتن اطلاعات یکپارچه در تبادل انرژی محصولات علوفه‌ای برای ایجاد امکان مقایسه الگوی مصرف انرژی آنها ضروری است. هدف از این پژوهش، بررسی الگوی مصرف انرژی، تعیین میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید و مدل‌سازی رابطه بین عملکرد محصول و انرژی نهاده‌های مصرفی در سه محصول علوفه‌ای است. این سه محصول شامل کاه گندم، ذرت سیلویی و یونجه معمولاً در اکثر دامداری‌ها در ترکیب جیره غذایی دام‌ها قرار دارند. میزان کل انرژی نهاده‌های ورودی به مزرعه در کشت گندم، ذرت سیلویی، و یونجه به ترتیب ۳۲۰۷۷/۸۵، ۹۳۰۴۹/۸۷ و ۳۰۲۰۸/۰۴ مگاژول در هکتار تخمین زده شده است. همچنین، میزان کربن دی‌اکسید منتشر شده در کشت این سه محصول به ترتیب برابر ۲۷۰۴/۶۷، ۵۸۶۱/۷۹ و ۵۵۳۸/۵۳ کیلوگرم در هکتار محاسبه شده است. نسبت انرژی در گندم و یونجه ۲/۶۵ و ۲/۱۸ به دست آمد در حالی که در ذرت سیلویی، به علت کمتر بودن انرژی خروجی از مزرعه نسبت به انرژی ورودی، این رقم کمتر از یک محاسبه شده است. با استفاده از سامانه استنتاج عصبی - فازی رابطه بین عملکرد این سه محصول و میزان انرژی نهاده‌های مصرفی مدل‌سازی گردید. برای تخمین عملکرد کاه، مدلی با تابع‌های عضویت "gaussmf" با سه تابع ورودی به‌عنوان بهترین مدل در میان مدل‌های مختلف تعیین گردید. در میان مدل‌های به دست آمده برای تعیین عملکرد ذرت، بهترین عملکرد در مدلی با دو تابع عضویت "pimf" دیده شد. همچنین، مدلی با سه تابع عضویت دوزنقه‌ای "trapmf" و ضریب تعیین ۰/۹۶+ بهترین عملکرد را برای مدل‌سازی عملکرد یونجه نشان داده است.

واژه‌های کلیدی

الگوی مصرف انرژی، سامانه استنتاج عصبی - فازی، گازهای گلخانه‌ای، مدل‌سازی

مقدمه

زنجیره غذایی تعیین می‌کند آیا این نوع سامانه تولید غذا می‌تواند در آینده اهداف امنیت غذایی و توسعه پایدار زیست‌محیطی را تامین کند یا خیر. در واقع، امنیت غذایی نیازمند تامین امنیت انرژی است. پیشرفته‌تر شدن کشورها موجب افزایش شکاف بین عرضه و تقاضای انرژی می‌شود. طبق آمار بانک جهانی، در سال ۲۰۱۰ مصرف سرانه انرژی در کشورهای فقیر یک سوم و یک پنجم مقداری بوده

وجود انرژی در تمام مراحل زنجیره تولید غذا از مزرعه (غذا-کشاورزی) ضروری است. این مراحل شامل تولید (مانند تولید محصولات کشاورزی، آبی‌پروری، پرورش حیوانات اهلی و فرآورده‌های جنگلی)، عملیات پس از برداشت، ذخیره‌سازی و فرآوری، حمل و نقل و توزیع و تهیه غذاست. نوع، مقدار و نحوه استفاده از انرژی در

انرژی در باغ‌های سیب را ۴۲ گیگاژول در هر هکتار برآورد کرده‌اند که بیشترین آن را متعلق به نهاده سوخت (با ۲۲ درصد مصرف انرژی) می‌دانند. همچنین، شدت انرژی برابر ۲/۰۶ مگاژول در هکتار برآورد شده است. در کشت جو، مبتکر و همکاران (Mobtaker *et al.*, 2010b) با بررسی الگوی مصرف انرژی، کل مصرف انرژی را ۲۵ گیگاژول در هکتار محاسبه کرده‌اند. شدت انرژی نیز در مطالعه آنها ۲/۸۶ مگاژول در هکتار به دست آمده است. کاری مشابه نیز از رمدانی و همکاران (Ramedani *et al.*, 2011) در کشت سویا دیده می‌شود؛ در بررسی های این محققان مجموع انرژی نهاده‌های ورودی به مزرعه ۱۸/۰۲ گیگاژول در هکتار برآورد شد که بیشترین سهم، ۶۶ درصد، به سوخت دیزل اختصاص دارد. در این مطالعه شدت انرژی ۹/۸۶ مگاژول در هکتار تعیین شد. همچنین، نوع و میزان گازهای گلخانه‌ای را می‌توان با تعیین میزان مصرف نهاده‌های به کار رفته در کشت محصولات مشخص کرد. مطالعات دیگری که در زمینه تبادل انرژی در مزرعه و انتشار گازهای گلخانه‌ای وجود دارد به این قرار است: سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2013) در کشت گندم، پهلون و همکاران (Pahlavan *et al.*, 2011) در کشت گوجه‌فرنگی، بناییان و زنگنه (Banaeian & Zangeneh, 2011) و هوشیار و همکاران (Houshyar *et al.*, 2012) در کشت ذرت و کاظمی و همکاران (Kazemi *et al.*, 2015) در کشت برنج.

یافتن رابطه بین انرژی مصرفی و میزان عملکرد محصولات تولیدی نیز ایده‌ای است که در این پژوهش مورد نظر خواهد بود. استفاده از روش‌های هوش مصنوعی، به دلیل قابلیت مدل‌سازی دقیق آنها بین پارمترهای ورودی و خروجی، چند دهه‌ای است که رواج پیدا کرده است. این روش‌ها هم اکنون رواج گسترده‌ای در کارهای کشاورزی پیدا کرده‌اند و امروزه کمتر مدل‌سازی را می‌توان یافت که از این روش‌ها در پیش‌بینی فرضیه‌های خود استفاده نکرده

است که به ترتیب در کشورهای متوسط و ثروتمند مصرف می‌شده است (Anon, 2010). بر اساس گزارش بخش برنامه‌ریزی سازمان ملل^۱، کشورهای جهان در آینده نیازمند افزایش میزان به‌کارگیری انرژی و بهبود شاخص بهره‌وری آن هستند. علاوه بر مشکل تامین انرژی، تولید محصولات کشاورزی و دامی و سایر مراحل زنجیره تولید غذا موجب تولید سالانه ۲۲ درصد گازهای گلخانه‌ای می‌شود (Anon, 2011).

صنعت شیر و لبنیات جایگاهی خاص در مباحث اقتصادی-اجتماعی دارد. تولید شیر خام در دامداری‌ها نیاز به مصرف انرژی دارد. نهاده‌های مختلف با میزان انرژی متفاوت برای تولید شیر استفاده می‌شوند. یکی از مهمترین نهاده‌ها در تولید شیر در دامداری، علوفه است. انواع مختلفی از علوفه در دامداری‌ها استفاده می‌شود که بسته به موقعیت جغرافیایی منطقه و فصل سال متفاوت هستند. ذرت سیلویی و یونجه تقریباً در تمام دامداری‌ها استفاده می‌شوند. بسیاری از دامداری‌ها علاوه بر این دو ماده غذایی دام، از کاه گندم و یا کاه جو نیز استفاده می‌کنند. کشت این محصولات در مزرعه، خود نیازمند استفاده از نهاده‌های زیادی است. در بررسی الگوی مصرف انرژی می‌توان کل مصرف انرژی در هر محصول را تعیین کرد و راهکاری مناسب برای کاهش میزان مصرف نهاده‌های انرژی بر ارائه داد. یافتن شاخص شدت انرژی برای هر محصول، امکان مقایسه میزان انرژی مصرفی محصولات مختلف را فراهم می‌سازد.

در بررسی الگوی مصرف انرژی می‌توان به پژوهش پیشگر کومله و همکاران (Pishgar-Komleh *et al.*, 2011) در کشت ذرت سیلویی اشاره کرد. در این پژوهش کل مصرف انرژی ۶۸ گیگاژول در هر هکتار با شدت انرژی برابر ۳/۷۶ مگاژول در هکتار برآورد شد که بیشترین آن متعلق به انرژی ماشین با ۴۲ درصد مصرف انرژی است. رفیعی و همکاران (Rafiee *et al.*, 2010) میزان مصرف

میزان مصرف انرژی نهاده‌ها، ستانده‌ها و شاخص‌های انرژی محاسبه گشته است.

برای تعیین میزان انرژی معادل نهاده‌ها و ستانده‌ها از ضریب‌های انرژی متناظر با هر یک استفاده شد. ضریب‌های انرژی برای نهاده‌ها و ستانده‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. بنابراین، انرژی معادل هر یک از نهاده‌ها از ضرب میزان مصرف هر یک از آنها در ضریب انرژی ویژه آن نهاده به دست آمد. برای محاسبه انرژی ماشین‌های کشاورزی از رابطه ۱ استفاده شد.

$$ME = \frac{G \times M_p \times t}{T} \quad (1)$$

که در آن،

ME = انرژی ناشی از به‌کارگیری ماشین در هر هکتار (مگاژول در هکتار)، G = وزن ماشین (کیلوگرم)، M_p = انرژی هر واحد ماشین در سال (مگاژول بر کیلوگرم)، t = ساعات استفاده از ماشین در هر هکتار (ساعت بر هکتار) و T = عمر مفید ماشین (ساعت). انرژی در نظر گرفته شده برای هر ماشین کشاورزی با توجه به جدول ۱ به‌ازای هر ساعت ۶۲/۷۰ مگاژول در نظر گرفته شد.

انرژی کودهای شیمیایی شامل انرژی صرف شده در مراحل تولید، خشک کردن، گرانول کردن، بسته‌بندی، انتقال و کاربرد است. انرژی کودهای دامی بر اساس میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیمی که دارند، در نظر گرفته شده است (Kitani, 1999).

انرژی لازم برای تامین آب مورد نیاز برای آبیاری در فصل رشد عبارت است از انرژی مستقیم (DE) و انرژی غیر مستقیم (IE). انرژی مستقیم شامل مصرف انرژی جهت بالا آوردن و ایجاد فشار H متناسب با نیاز سامانه آبیاری است که از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Kitani, 1999).

باشد. در اینجا به برخی تحقیقات اشاره می‌شود: سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2013) در تولید شیر در دامداری، پهلوان و همکاران (Pahlavan et al., 2012) در تولید ریحان گلخانه‌ای، حیدری (Heidari, 2011) در تولید مرغ گوشتی، رمدانی و همکاران (Ramedani et al., 2014) در پیش‌بینی میزان انرژی تابشی خورشید در روزهای مختلف سال، پورعلی‌بابا و همکاران (Pour-Ali-Baba et al., 2013) در مدل‌سازی میزان تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از داده‌های موجود و تخمین زده شده هواشناسی، و کیسی و شیری (Kisi & Shiri, 2013) در پیش‌بینی دمای هوای ماهانه با استفاده از سایر داده‌های هواشناسی. بر اساس آنچه گفته شد، هدف از این پژوهش که در استان کرمانشاه اجرا گردید، یکی تعیین الگوی مصرف انرژی و میزان آلاینده‌های منتشر شده به جو (اتمسفر) در کشت محصولات علوفه‌ای مورد تغذیه دام شامل کاه گندم و دانه آن، ذرت سیلویی، و جو و دیگری کاربرد سامانه استنتاج عصبی-فازی در مدل‌سازی رابطه بین عملکرد این سه محصول و انرژی نهاده‌های مورد استفاده است.

مواد و روش‌ها

جریان انرژی و میزان گازهای گلخانه‌ای تولیدی در کشت گیاهان علوفه‌ای

نهاده‌های مورد استفاده در تولید محصولات علوفه‌ای، در منطقه کرمانشاه، شامل: نیروی انسانی، ماشین‌های کشاورزی (تراکتور، گاوآهن، کولتیواتور و کمباین)، سوخت دیزل، آب آبیاری، کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفات و پتاسیم)، کود دامی، سموم شیمیایی و بذر هستند. برای دسترسی به اطلاعات مورد نیاز، در سال زراعی ۹۳-۹۴ از روش پرسشنامه‌ای و مصاحبه رو در رو با کشاورزان استفاده شد. از مطالب استخراج شده از این پرسشنامه‌ها،

آب که معمولاً برابر ۰/۷-۰/۹ در نظر گرفته می‌شود)، و η_2 = بازده کل تبدیل انرژی و توان به صورت اعشار است (که برای پمپ‌های برقی معمولاً برابر ۰/۲۰-۰/۱۸ در نظر گرفته می‌شود) (Kitani, 1999).

برای محاسبه انرژی غیر مستقیم آبیاری، باید حجم آب ورودی به مزرعه را در دوره کشت محاسبه کرد. دانستن قطر لوله چاه، فشار آب خروجی از آن، مدت زمان آبیاری، و دفعات آبیاری از پارامترهایی هستند که در محاسبه هر چه دقیق‌تر این انرژی موثرند.

$$DE = \frac{\rho g H Q}{\eta_1 \eta_2} \quad (2)$$

که در آن، DE = انرژی مصرفی مستقیم (ژول در هکتار)، ρ = چگالی آب (۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب)، g = شتاب جاذبه (۹/۸ متر بر مجذور ثانیه)، H = کل ارتفاع دینامیکی به علاوه افت اصطکاکی فشار (متر)، Q = دبی کل آب مصرفی در فصل زراعی (متر مکعب در ساعت)، η_1 = بازده پمپ به صورت اعشار (تابع ارتفاع عمودی بالابر، سرعت و جریان

جدول ۱- مقدار انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید محصولات علوفه‌ای

مرجع	مقدار انرژی (MJ Unit ⁻¹)	واحد	عنوان
			نهاده‌ها
(Kitani, 1999)	۱/۹۶	<i>h</i>	نیروی انسانی
(Beheshtitabar <i>et al.</i> , 2010)	۶۲/۷۰	<i>kg</i>	ماشین‌ها و ادوات
(Kitani, 1999)	۴۷/۸	<i>L</i>	سوخت دیزل
		<i>kg</i>	کود
(Kitani, 1999)	۳/۴		نیترژن (N)
(Kitani, 1999)	۱۳		فسفر (P ₂ O ₅)
(Kitani, 1999)	۶/۴		پتاسیم (K ₂ O)
		<i>kg</i>	سموم شیمیایی
(Kitani, 1999)	۲۳۸		علف‌کش
(Kitani, 1999)	۲۸۸		حشره‌کش
(Kitani, 1999)	۱۹۶		قارچ‌کش
(Ozkan <i>et al.</i> , 200a)	۱/۰۲	<i>m</i> ³	آب آبیاری
(Mousavi-Avval <i>et al.</i> , 2011)	۱۱/۹۳	kWh	الکتریسیته
		<i>kg</i>	بذر
(Ozkan <i>et al.</i> , 200a)	۲۰/۱		گندم
(Maysami, 2013; Ortiz-Canavate & Hernanz, 1999)	۲۳۰		یونجه
(Kitani, 1999)	۱۰۰		ذرت
			مجموع
			ستانده‌ها
(Ziaei <i>et al.</i> , 2015)	۹/۲۵	<i>kg</i>	کاه گندم (ماده خشک)
(Kitani, 1999)	۱۳	<i>kg</i>	دانه گندم
(Robinsin, 2001)	۸	<i>kg</i>	علوفه ذرت (ماده خشک)
Mobtaker <i>et al.</i> , 2010a)	۱۵/۸	<i>kg</i>	علوفه یونجه (ماده خشک)

ضریب‌های گازهای گلخانه‌ای آزاد شده از نهاده‌های مختلف کشاورزی در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. از این کشت هر محصول استفاده می‌گردد.

جدول ۲- ضریب‌های گازهای گلخانه‌ای آزاد شده از نهاده‌های کشاورزی

منبع	ضریب گازهای گلخانه‌ای (kg CO ₂ eq. unit ⁻¹)	واحد	نهاده‌ها
(Dyer & Desjardins, 2006)	۷۱	GJ	ماشین
(Dyer & Desjardins, 2003)	۲/۷۶	L	سوخت فسیلی
			کودهای شیمیایی
(Lal, 2004)	۰/۲	kg	نیتروژن
(Lal, 2004)	۶/۳	kg	فسفر
(Lal, 2004)	۵/۱	kg	پتاسیم
			سموم شیمیایی
(Lal, 2004)	۰/۶۰۸	kg	علف کش
(Lal, 2004)	۵/۱	kg	حشره کش
(Lal, 2004)	۳/۹	kg	قارچ کش
(Khodi & Mousavi, 2009)	۰/۶۰۸	kWh	الکتریسیته

شاخص‌های انرژی

در این قسمت از تحقیق، شاخص‌های انرژی در تولید محصولات کشاورزی مورد نظر بررسی شده‌اند. بعضی از شاخص‌های مهم انرژی که امکان شناخت جامع از وضعیت انرژی در کشاورزی را مهیا می‌سازد، شامل نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه، و افزوده خالص انرژی هستند (Ramedani et al., 2011). نسبت انرژی شاخصی بدون واحدی است که نسبت انرژی خروجی را به انرژی ورودی به مزرعه بیان می‌کند. بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) نیز بیان‌کننده مقدار تولید محصول به‌ازای هر واحد انرژی مصرف شده است. شدت انرژی (مگاژول بر کیلوگرم) نشان‌دهنده مصرف انرژی برای تولید یک واحد از محصول است. این شاخص می‌تواند شاخصی برای ارزیابی کارایی مصرف انرژی در سامانه‌های مختلف تولید محصول مورد نظر نیز باشد. افزوده خالص انرژی به‌معنای کاستن انرژی ورودی از انرژی خروجی است.

مدل‌سازی با کمک سامانه استنتاج عصبی-فازی

تطبیقی (ANFIS)

در سال‌های اخیر کاربردهای منطق فازی به‌شدت گسترش یافته‌اند. کاربرد این منطق در ساخت و کنترل محصولات مصرفی نظیر دوربین، ماشین لباسشویی و میکروویو تا کنترل فرآیندهای صنعتی، ساخت ابزارهای پزشکی، سامانه‌های تصمیم‌گیری، و ... دیده می‌شود. منطق فازی دو معنای متفاوت دارد. در معنای اول (که دارای دید محدودتری است) منطق فازی سامانه‌ای است منطقی که از منطق چندمقداری منتج شده است. اما در معنای دوم که گسترده‌تر است، منطق فازی تقریباً مترادف با تئوری مجموعه‌های فازی است. تئوری مجموعه‌های فازی با کلاس‌هایی از اشیا با مرزهای غیربرجسته در ارتباط است. در این کلاس‌ها عضویت اشیا در هر یک از کلاس‌ها با مفهومی تحت عنوان درجه عضویت توصیف می‌شود.

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)(y_i^* - \bar{y}_i^*)\right)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2 \sum_{i=1}^N (y_i^* - \bar{y}_i^*)^2} \quad (۶)$$

که در آن‌ها،

$y_i, y_i^*, \bar{y}_i, \bar{y}_i^*$ = به ترتیب مقادیر واقعی، مقادیر مدل شده، میانگین مقادیر واقعی، و میانگین مقادیر مدل شده پارامترها و N تعداد کل داده‌ها.

نتایج و بحث

تحلیل انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها و شاخص‌های آنها

نتایج تحلیل انرژی در کشت سه محصول علوفه‌ای مورد تغذیه دام در جدول ۳ دیده می‌شود. میزان مصرف انرژی در کشت گندم (دانه به همراه کاه)، ذرت سیلویی، و یونجه به ترتیب برابر با ۳۱/۵، ۹۲/۳ و ۳۰/۱ گیگاژول در هر هکتار تخمین زده شده است. بنابراین، کشت ذرت سیلویی بیشترین مصرف انرژی را داشته است. محققان دیگری از جمله صفا و همکاران در نیوزلند (Safa et al., 2011)، سینگ و همکاران (Singh et al., 1999) در هند و نیز عبدالله‌پور و زارعی (Abdollahpoor & Zarei, 2010) در ایران مقدار انرژی مصرفی کل در کشت گندم را به ترتیب ۲۵، ۱۷/۹ و ۲۰/۱ گیگاژول در هکتار تخمین زده‌اند. پیشگر و همکاران (Pishgar-Komleh et al., 2011) نیز میزان کل مصرف انرژی در کشت ذرت سیلویی در شهرستان کرج را ۶۸/۹۲ گیگاژول در هکتار برآورد کرده‌اند.

در شکل ۱، مقایسه میزان انرژی نهاده‌های مصرفی در کشت این سه محصول نشان داده شده است. بیشترین نهاده انرژی‌بر در کشت گندم، ذرت سیلویی، و یونجه به ترتیب کودهای شیمیایی (۴۱ درصد)، بذر (۴۱ درصد)، و کودهای شیمیایی (۳۴ درصد) است.

در جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار متلب از قالب معنای گسترده‌تر استفاده می‌شود. در مباحث منطق فازی با نوع جدیدی از متغیرها با عنوان متغیرهای زبان شناختی سر و کار داریم. محتوای این متغیرها به جای اعداد، کلمات هستند. در واقع می‌توان منطق فازی را روشی دانست برای اجرای محاسبات روی کلمات (به جای اعداد). کلمات اگرچه نسبت به اعداد دقت کمتری دارند اما به درک بشر از محیط اطراف نزدیک‌تر هستند. علاوه بر آن، این دسته از محاسبات هزینه رسیدن به راه حل را کاهش می‌دهند.

تعیین دقت و واسنجی سامانه

میانگین قدر مطلق خطا^۱، میانگین مربع خطا^۲، میانگین قدر مطلق درصد خطا^۳ و ضریب تعیین برای اندازه‌گیری دقت و تغییرات بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده با روش‌های هوشمند (عصبی و عصبی - فازی) و مقادیر حقیقی ویژگی‌های خروجی به ترتیب از رابطه‌های ۳ تا ۶ محاسبه شدند:

$$MAE_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - y_i^*| \quad (۳)$$

$$MSE_y = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_i^*)^2}{N} \quad (۴)$$

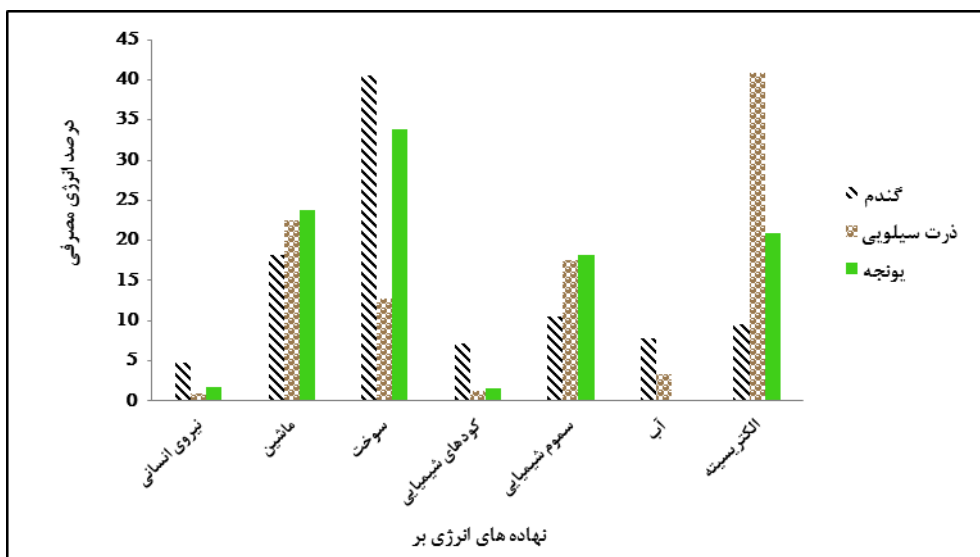
$$MAPE_y = \frac{\sum \left(\frac{|y_i - y_i^*|}{y_i^*} \right)}{N} \times 100\% \quad (۵)$$

جدول ۳- مقدار انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید محصولات علوفه‌ای

انرژی (مگاژول در هکتار)			عنوان
یونجه	ذرت سیلویی	گندم	نهاده‌ها
۵۹/۰۴	۶۵۲/۱۹	۵۲۵/۲۰	نیروی انسانی
۵۳۰/۰۴	۹۱۳/۸۷	۱۵۰۳/۴۵	ماشین‌ها و ادوات (کیلوگرم)
۷۱۶۳/۴۱	۲۰۹۳۷/۲۰	۵۸۵۰/۸۴	سوخت دیزل (لیتر)
			کود (کیلوگرم)
۸۵۷۰/۰۵	۱۱۰۶۵/۷۱	۱۰۹۵۶/۴۶	نیتروژن (N)
۱۶۵۱/۹۸	۳۶۸/۱۸	۱۹۷۷/۴۷	فسفر (P ₂ O ₅)
-	۴۳۸/۴	۴۳/۴۹	پتاسیم (K ₂ O)
			سموم شیمیایی
۱۶۷/۶۱	۱۱۸۰/۴۸	۲۶۲۹/۲۱	علف‌کش (کیلوگرم)
۳۰۷/۷۰	-	۲۷۲/۰۱	حشره‌کش (کیلوگرم)
-	-	۱۵۴/۸۷	قارچ‌کش (کیلوگرم)
۵۴۷۷/۷۱	۱۶۳۳/۰۳	۳۳۶۳/۶۰	آب آبیاری (متر مکعب)
-	۳۷۳۷۵/۰۶	۲۵۰۱/۷۸	الکتریسیته (کیلووات ساعت)
			بذر (کیلوگرم)
		۳۰۷۹/۶۵	گندم
۶۲۸۰/۴۵			یونجه
	۳۸۰۳۱/۴۲		ذرت
۳۰۲۰۸/۰۴	۹۳۰۴۹/۸۷	۳۲۰۷۷/۸۵	مجموع
			ستانده‌ها
		۴۱۳۴۴/۰۸	کاه گندم (کیلوگرم)
		۴۳۷۷۳/۰۲	دانه گندم (کیلوگرم)
	۶۷۶۰۹/۱۴		علوفه ذرت (کیلوگرم)
۶۵۹۸۰/۳۹			علوفه یونجه (کیلوگرم)

شدت انرژی در مورد محصول ذرت سیلویی حدود چهار برابر آن دو محصول دیگر به‌دست آمده و این بدان معناست که برای به‌دست آوردن یک کیلوگرم ذرت سیلویی بر اساس ماده خشک باید، در مقایسه با دو محصول دیگر، چهار برابر انرژی مصرف کرد.

در جدول ۴، نتایج محاسبه شاخص‌های انرژی در سه محصول گفته شده دیده می‌شود. نسبت انرژی در دو محصول گندم و یونجه عددی بالاتر از یک محاسبه شده است که نشان‌دهنده بیشتر بودن میزان انرژی ستانده‌ها نسبت به مجموع انرژی نهاده‌های ورودی به مزرعه است.



شکل ۱- مقایسه انرژی مصرفی نهاده‌های مختلف و درصد آنها در تولید محصولات علوفه‌ای

جدول ۴- شاخص‌های انرژی در تولید سه محصول علوفه‌ای

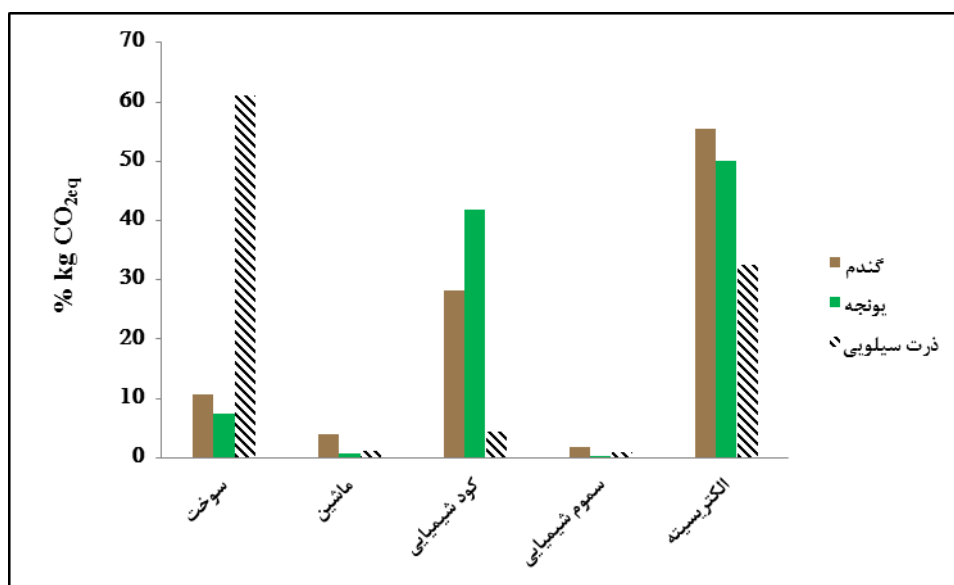
محصول	شاخص			واحد	شاخص
	ذرت سیلویی	گندم با احتساب کاه	یونجه		
نسبت انرژی	۰/۷۲	۲/۶۵	۲/۱۸	-	
بهره‌وری انرژی	۰/۱۱	۰/۴۸	۰/۴۳	کیلوگرم بر مگاژول	
شدت انرژی	۸/۸۰	۲/۰۶	۲/۲۸	مگاژول بر کیلوگرم	
افزوده خالص انرژی	-۲۵۴۴۰/۷۳	۵۳۰۳۹/۲۵	۳۵۷۷۲/۳۶	مگاژول در هکتار	

همان‌طور که در جدول ۵ می‌شود، مقدار کربن دی‌اکسید منتشر شده به اتمسفر در کشت گندم، نسبت به دو محصول دیگر، کمتر است. ذرت سیلویی در قسمت نهاده سوخت، کربن دی‌اکسید بیشتری آزاد کرده که در یونجه این اتفاق در نهاده کود شیمیایی افتاده است (شکل ۲).

تعیین آلاینده‌های منتشر شده به جو (اتمسفِر) در کشت علوفه با توجه به ضریب‌های ارائه شده در جدول ۲، میزان کربن دی‌اکسید معادل نهاده‌های مختلف استفاده شده در کشت سه نوع علوفه (کاه گندم، یونجه و ذرت سیلویی) محاسبه گردید.

جدول ۵- کیلوگرم CO₂ آزاد شده در کشت محصولات علوفه‌ای در هر هکتار

نهاده‌ها	kg CO ₂ eq-Alfalfa	kg CO ₂ eq-Silage	kg CO ₂ eq-wheat
سوخت	۴۱۳/۶۱	۳۵۷۸/۱۲	۲۸۶/۷۷
ماشین	۳۷/۶۳	۶۴/۸۸	۱۰۶/۷۴
کودهای شیمیایی	۲۳۱۲/۱۴	۲۵۳/۲۹	۷۶۰/۲۳
سموم شیمیایی	۵/۸۷	۶۰/۷۲	۴۹/۸۴
الکتریسیته	-	۱۹۰۴/۷۸	۱۵۰۱/۵۰
مجموع	۵۵۳۸/۵۳	۵۸۶۱/۷۹	۲۷۰۴/۶۷



شکل ۲- مقایسه میزان گازهای گلخانه‌ای منتشرشده به جو (اتمسفر) در کشت محصولات علوفه‌ای مختلف

مختلفی از جمله 'trimf'، 'trapmf'، 'psigmf'، 'dsigmf'، 'gbellmf'، 'gauss'، 'gauss2mf' و 'pimf' با تعداد تابع‌های عضویت ورودی دو و سه آزمایش و بررسی شدند. در این راستا ۸۰ درصد از داده‌ها (۱۵۰ مزرعه) برای آموزش و ۲۰ درصد از داده‌ها (۳۷ مزرعه) برای واریس به صورت تصادفی انتخاب شدند. برای تخمین عملکرد کاه، مدلی با توابع عضویت 'gaussmf' با سه تابع ورودی بهترین عملکرد را در میان مدل‌های مختلف به خود اختصاص داد (جدول ۶). مدل مذکور با ضریب تعیین ۰/۹۷ و MSE، MAE و MAPE به ترتیب ۰/۰۳۴، ۰/۰۵۰ و ۵/۸۵ درصد به‌عنوان بهترین مدل عصبی- فازی برای تخمین عملکرد کاه انتخاب شد.

مدل‌سازی عملکرد ذرت سیلویی

روش عصبی- فازی برای مدل‌سازی رابطه بین عملکرد محصول ذرت سیلویی و انرژی نهاده‌های مورد استفاده، آزمایش و بررسی شد. برای مدل‌سازی خروجی‌های مورد نظر از توابع

مدل‌سازی عملکرد محصولات کشاورزی با کمک سامانه استنتاج عصبی- فازی تطبیقی مدل‌سازی عملکرد کاه گندم

مدل‌های عصبی- فازی، به‌خصوص زمانی که تعداد ورودی‌ها از پنج بیشتر است، نسبت به ابعاد حساسیت دارند. این اشکال زمانی نمایان‌تر می‌شود که تعداد نمونه‌ها محدود (کمتر از ۵۰) است. در کل، زمان آموزش به نسبت تعداد مجموعه‌های فازی برای هر متغیر ورودی به صورت نمایی افزایش می‌یابد. بنابراین، در مدل عصبی- فازی استاندارد، مدل باید تعدادی اندک (کمتر از پنج) متغیر ورودی و یک متغیر خروجی داشته باشد. آنگاه که تعداد متغیرهای ورودی بیشتر از پنج است، مدت زمان محاسبات و تعداد قوانین به صورت نمایی افزایش می‌یابد. در این شرایط، اگر تعداد نمونه‌های آموزشی به اندازه کافی نباشد، مدل عصبی- فازی ناموفق خواهد بود (Naderloo et al., 2012).

نهاده‌های انرژی‌بر در فرآیند تولید گندم با استفاده از تکنیک عصبی- فازی نیز مدل‌سازی شدند. برای انتخاب بهترین مدل، تابع‌های عضویت

مدل‌سازی عملکرد یونجه

برای ارزیابی توانایی مدل‌های عصبی-فازی در تخمین عملکرد یونجه و میزان انتشار آلاینده‌ها در عملیات تولید این محصول، مشابه قسمت‌های قبل، ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد آنها برای ارزیابی مدل استفاده شد. از تابع‌های عضویت $'trimf'$ ، $'trapmf'$ ، $'psigmf'$ ، $'dsigmf'$ ، $'gbellmf'$ ، $'gauss'$ ، $'gauss2mf'$ و $'pimf'$ نیز برای ایجاد مدل‌ها استفاده شد. نتایج مدل‌سازی عملکرد یونجه با این تابع‌ها در جدول ۸ نشان داده شده است. مدل عصبی-فازی با سه تابع عضویت دوزنقه‌ای $'trapmf'$ و ضریب تعیین ۰/۹۶۰ بهترین عملکرد را برای مدل‌سازی عملکرد یونجه نشان داده است. معیارهای عملکردی این مدل ($MSE = ۰/۰۴۲$ ، $MAE = ۰/۰۸۰$ و $MAPE = ۲۰/۳۷$ درصد) از سایر مدل‌ها بهتر است.

عضویت مختلف $'trimf'$ ، $'trapmf'$ ، $'psigmf'$ ، $'dsigmf'$ ، $'gbellmf'$ ، $'gauss'$ ، $'gauss2mf'$ و $'pimf'$ با تعداد ورودی دو و سه استفاده شد که نتایج به‌دست آمده در جدول ۷ نشان داده شده است. در میان مدل‌های به‌دست آمده برای تعیین عملکرد ذرت، بهترین عملکرد مربوط به مدلی با دو تابع عضویت $'pimf'$ است. ضریب تعیین این مدل ۰/۹۸۶ و مقادیر MSE ، MAE و $MAPE$ آن به ترتیب ۰/۰۱۶، ۰/۰۴۱ و ۱۶/۱۰ درصد است. همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، مدل با دو تابع عضویت $'gauss2mf'$ نیز ضریب تعیین (۰/۹۸۶) و مقدار MSE (۰/۰۱۶) مشابهی دارد، ولی مقادیر دو خطای دیگر این مدل ($MAE = ۰/۰۴۵$ و $MAPE = ۲۲/۲۸$ درصد) از مدل برگزیده بیشتر است.

جدول ۶- عملکرد مدل‌های عصبی-فازی با تعداد توابع عضویت مختلف و انواع مختلف توابع عضویت برای مدل‌سازی عملکرد کاه گندم

R^2	MAPE (%)	MAE	MSE	تعداد توابع عضویت	تابع عضویت
۰/۸۷۷	۱۳/۰۴	۰/۱۰۸	۰/۱۴۱	۲	<i>Dsigmf</i>
۰/۹۵۰	۷/۶۰	۰/۰۶۶	۰/۰۵۵	۲	<i>Gaussmf</i>
۰/۸۲۸	۱۲/۴۶	۰/۱۱۶	۰/۲۱۷	۲	<i>gauss2mf</i>
۰/۹۲۲	۸/۳۰	۰/۰۷۶	۰/۰۹۳	۲	<i>Gbellmf</i>
۰/۶۵۲	۲۰/۸۱	۰/۱۷۹	۰/۵۴۴	۲	<i>Pimf</i>
۰/۸۷۶	۱۳/۰۷	۰/۱۰۹	۰/۱۴۱	۲	<i>Psigmf</i>
۰/۴۰۰	۳۳/۹۴	۰/۲۸۶	۱/۳۵۷	۲	<i>Trapmf</i>
۰/۸۸۴	۱۵/۷۰	۰/۱۳۵	۰/۱۳۷	۲	<i>Trimf</i>
۰/۹۳۴	۸/۴۹	۰/۰۶۷	۰/۰۷۴	۳	<i>Dsigmf</i>
۰/۹۷	۵/۸۵	۰/۰۵۰	۰/۰۳۴	۳	<i>Gaussmf</i>
۰/۸۹۸	۸/۷۶	۰/۰۷۹	۰/۱۱۹	۳	<i>gauss2mf</i>
۰/۹۵۹	۶/۴۳	۰/۰۵۷	۰/۰۴۲	۳	<i>Gbellmf</i>
۰/۸۴۳	۱۵/۱۷	۰/۱۱۳	۰/۱۸۱	۳	<i>Pimf</i>
۰/۹۳۴	۸/۴۹	۰/۰۶۷	۰/۰۷۴	۳	<i>Psigmf</i>
۰/۸۸۹	۱۱/۱۲	۰/۰۹۳	۰/۱۲۹	۳	<i>Trapmf</i>
۰/۴۲۴	۲۱/۳۷	۰/۲۱۳	۱/۶۲۹	۳	<i>Trimf</i>

جدول ۷- عملکرد مدل‌های عصبی-فازی با تعداد تابع‌های عضویت مختلف و انواع مختلف تابع‌های عضویت به منظور مدل‌سازی عملکرد ذرت سیلویی

R ²	MAPE (درصد)	MAE	MSE	تعداد تابع‌های عضویت	تابع عضویت
۰/۹۸۵	۲۲/۰۵	۰/۰۴۹	۰/۰۱۷	۲	Dsigmf
۰/۹۳۸	۹۶/۲۰	۰/۱۱۲	۰/۰۷۳	۲	Gaussmf
۰/۹۸۶	۲۲/۲۸	۰/۰۴۵	۰/۰۱۶	۲	gauss2mf
۰/۹۴۸	۵۴/۲۲	۰/۱۰۱	۰/۰۶۰	۲	Gbellmf
۰/۹۸۶	۱۶/۱۰	۰/۰۴۱	۰/۰۱۶	۲	Pimf
۰/۹۸۵	۲۲/۹۱	۰/۰۵۰	۰/۰۱۷	۲	Psigmf
۰/۹۵۲	۳۱/۸۸	۰/۰۹۳	۰/۰۵۵	۲	Trapmf
۰/۹۰۵	۱۱۶/۱۶	۰/۱۳۴	۰/۱۱۱	۲	Trimf
۰/۹۸۲	۲۰/۶۶	۰/۰۵۷	۰/۰۲۱	۳	Dsigmf
۰/۹۸۱	۲۵/۳۶	۰/۰۵۸	۰/۰۲۲	۳	Gaussmf
۰/۹۸۴	۱۸/۴۲	۰/۰۵۲	۰/۰۱۸	۳	gauss2mf
۰/۹۷۹	۲۴/۸۳	۰/۰۶۰	۰/۰۲۳	۳	Gbellmf
۰/۹۸۴	۱۸/۳۳	۰/۰۵۲	۰/۰۱۸	۳	Pimf
۰/۹۸۲	۲۰/۶۴	۰/۰۵۷	۰/۰۲۱	۳	Psigmf
۰/۹۸۴	۱۸/۲۳	۰/۰۵۱	۰/۰۱۸	۳	Trapmf
۰/۹۸۱	۲۳/۵۲	۰/۰۵۵	۰/۰۲۱	۳	Trimf

جدول ۸- عملکرد مدل‌های عصبی-فازی با تعداد تابع‌های عضویت مختلف و انواع مختلف تابع‌های عضویت برای مدل‌سازی عملکرد یونجه

R ²	MAPE (درصد)	MAE	MSE	تعداد تابع‌های عضویت	تابع عضویت
۰/۸۵۹	۳۲/۳۸	۰/۱۶۰	۰/۱۶۹	۲	Dsigmf
۰/۷۸۲	۴۲/۴۱	۰/۱۹۲	۰/۲۷۴	۲	Gaussmf
۰/۹۰۰	۲۵/۸۹	۰/۱۳۵	۰/۱۱۲	۲	gauss2mf
۰/۷۷۵	۴۱/۹۷	۰/۲۰۰	۰/۳۰۱	۲	Gbellmf
۰/۸۷۳	۲۶/۶۲	۰/۱۴۱	۰/۱۴۴	۲	Pimf
۰/۸۶۱	۳۱/۷۹	۰/۱۵۹	۰/۱۶۶	۲	Psigmf
۰/۷۸۶	۳۴/۵۳	۰/۱۷۵	۰/۲۵۰	۲	Trapmf
۰/۷۷۸	۴۳/۷۳	۰/۱۷۸	۰/۲۵۷	۲	Trimf
۰/۹۲۵	۲۷/۷۳	۰/۱۰۲	۰/۰۸۲	۳	Dsigmf
۰/۹۴۰	۲۴/۴۸	۰/۰۹۰	۰/۰۶۵	۳	Gaussmf
۰/۹۴۰	۲۵/۹۸	۰/۰۹۴	۰/۰۶۵	۳	gauss2mf
۰/۸۹۵	۳۲/۹۲	۰/۱۲۹	۰/۱۲۰	۳	Gbellmf
۰/۹۳۹	۲۶/۱۵	۰/۰۹۴	۰/۰۶۴	۳	Pimf
۰/۹۲۵	۲۷/۷۳	۰/۱۰۲	۰/۰۸۲	۳	Psigmf
۰/۹۶۰	۲۰/۳۷	۰/۰۸۰	۰/۰۴۲	۳	Trapmf
۰/۸۹۳	۳۱/۸۹	۰/۱۳۸	۰/۱۱۷	۳	Trimf

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، میزان انرژی مصرفی برای تولید کاه گندم به همراه دانه، ذرت سیلویی، و یونجه که در تغذیه دام به کار می‌روند، بررسی شد. ذرت سیلویی با مصرف انرژی معادل ۹۳۰۴۹/۸۷ مگاژول در هکتار بیشترین مقدار را در مقایسه با دو محصول دیگر دارد (حدود ۳ برابر گندم و یونجه). شدت انرژی در کشت ذرت سیلویی حدود چهار برابر شدت انرژی در کشت دو محصول دیگر محاسبه شده و میزان آلاینده‌های تولیدی آن نسبت به دو محصول دیگر بالاتر است.

همچنین، استفاده از روش عصبی- فازی برای تخمین عملکرد کاه، مدلی با تابع‌های عضویت *'gaussmf'* با سه تابع ورودی را به‌عنوان بهترین مدل در میان مدل‌های مختلف تعیین کرده است. در میان مدل‌های به‌دست آمده برای تعیین عملکرد ذرت، بهترین عملکرد مربوط به مدلی با دو تابع عضویت *'pimf'* است. مدل عصبی- فازی با سه تابع عضویت دوزنقه‌ای *'trapmf'* و ضریب تعیین ۰/۹۶۰ بهترین عملکرد را برای مدل‌سازی عملکرد یونجه نشان داده است.

مراجع

- Abdollahpoor, S. and Zarei, S. 2010. Estimation of energy balance in wheat fields in Kermanshah province. J. Sustain. Agric. Product. Sci. 20(1): 97-106. (in Persian)
- Anon. 2010. World Development Indicators. The World Bank Group, Washington. Available at <http://data.worldbank.org>.
- Anon. 2011. Energy Smart Food for People and Climate. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Available at: <http://www.fao.org>.
- Banaeian, N. and Zangeneh, M. 2011. Study on energy efficiency in corn production of Iran. Energy. 36(8), 5394-5402.
- Beheshtabar, I., Keyhani, A. and Rafiee, Sh. 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006). Renew. Sustain. Energy Rev. 14, 849-855.
- Dyer, J. A. and Desjardins, R. L. 2003. Simulated farm fieldwork, energy consumption and related greenhouse gas emissions in Canada. Biosyst. Eng. 85(4): 503-513.
- Dyer, J. A. and Desjardins, R. L. 2006. Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada. Biosyst. Eng. 93(1): 107-118.
- Heidari, M. D. Measuring efficiency and finding economical indices of poultry units in the province of Yazd by Data Envelopment Analysis and Artificial Neural Networks. M. Sc. Thesis. Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran. Tehran, Iran. (in Persian)
- Houshyar, E., Azadi, H., Almassi, M., Sheikh-Davoodi, M. J. and Witrox, F. 2012. Sustainable and efficient energy consumption of corn production in Southwest Iran: Combination of multi-fuzzy and DEA modeling. Energy. 44(1): 672-681.
- Kazemi, H., Kamkar, B., Lakzaei, S., Adsar, M. and Shahbyki, M. 2015. Energy flow analysis for rice production in different geographical regions of Iran. Energy. 84, 390-396.
- Khodi, M. and Mousavi, S. M. J. 2009. Life cycle assessment of power generation technology using GHG emissions reduction approach. Proceeding of the 7th National Energy Conference. Oct. 19-20. Tehran. Iran. (in Persian)
- Kisi, O. and Shiri, J. 2013. Prediction of long-term monthly air temperature using geographical inputs. Int. J. Climatol. 34, 179-186.

- Kitani, O. 1999. CIGR handbook of agricultural engineering. Vol. 5: Energy and biomass engineering. ASAE Pub. St Joseph, MI.
- Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environ. Int.* 30(7): 981-90.
- Maysami, M. A. 2013. Energy efficiency in dairy cattle farming and related feed production in Iran. Ph. D. Thesis. Faculty of Agriculture and Horticulture, Humboldt-University of Berlin.
- Mobtaker, H. G., Akram, A. and Keyhani, A. 2010a. Investigation of energy consumption of perennial Alfalfa production; Case study of Hamedan province. *J. Food Agric. Environ.* 8, 379-381.
- Mobtaker, H. G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S. and Akram, A. 2010b. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan province of Iran. *Agric. Ecosyst. Environ.* 137(3-4): 367-72.
- Naderloo, L., Alimardani, R., Omid, M., Sarmadian, F., Javadikia, P., Torabi, M. Y. and Alimardani, F. 2012. Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. *Measurement.* 45, 1406-1413.
- Ortiz-Canavate, J. and Hernanz, J. L. 1999. Energy for Biological Systems. In: Kitani, O. (Ed.) CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. 5. ASAE.
- Ozkan, B., Akcaoz, H. and Fert, C. 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renew. Energy.* 29, 39-51.
- Pahlavan, R., Omid, M. and Akram, A. 2011. Energy use efficiency in greenhouse tomato production in Iran. *Energy.* 36 (12): 6714-6719.
- Pahlavan, R., Omid, M. and Akram, A. 2012. Energy input-output analysis and application of artificial neural networks for predicting greenhouse basil production. *Energy.* 37, 171-176.
- Pishgar-Komleh, S. H., Keyhani, A., Rafiee, S. and Sefeedpari, P. 2011. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. *Energy.* 36, 3335-3341.
- Pour-Ali-Baba., A., Shiri, J., Kisi, O., Fakheri-Fard, A., Kim, S. and Amini, R. 2013. Estimating daily reference evapotranspiration using available and estimated climatic data by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Artificial Neural Network (ANN). *Hydrol. Res.* 44, 131-146.
- Rafiee, S., Mousavi-Avval, S. H. and Mohammadi, A. 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy.* 35, 3301-3306.
- Ramedani, Z., Rafiee, S. and Heidari, M. D. 2011. An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy.* 36, 6340-6344.
- Ramedani, Z., Omid, M., Keyhani, A., Khoshnevisan, B. and Saboohi, H. 2014. A comparative study between fuzzy linear regression and support vector regression for global solar radiation prediction in Iran. *Solar Energy.* 109(3): 135-143.
- Safa, M., Samarasinghe, S. and Mohssen, M. 2011. A field study of energy consumption in wheat production in Canterbury, New Zealand. *Energy Conver. Manage.* 52, 2526-2532.
- Sefeedpari, P., Rafiee, S. and Akram, A. 2013. Application of artificial neural network to model the energy output of dairy farms in Iran. *Int. J. Energy Technol. Policy.* 9(1): 82-91.
- Singh, S., Singh, S., Pannu, C. J. S. and Singh, J. 1999. Energy input and yield relations for wheat in different agro-climatic zones of the Punjab. *Appl. Energy.* 63, 287-298.
- Soltani, A., Rahabi, M. H., Zeinali, E. and Soltani, E. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy.* 50, 54-61.
- Ziaei, S. M., Mazlumzadeh, S. M. and Jabbari, M. 2015. A comparison of energy use and productivity of wheat and barley (case study). *J. Saudi Agric. Sci.* 14(1): 19-25.



Assessment of Energy Consumption Pattern and using of Nero-Fuzzy Technique in Modeling the of Forage Crops

Z. Ramedani*, R. Abdi, M. Omid and M. A. Maysami

* Corresponding Author: Ph. D. of Biosystems Engineering, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran. Email: zeynab.ramedani@gmail.com

Received: 24 July 2016, Accepted: 5 July 2017

It is essential to have integrated information on the energy exchange of forage crops in order to allow comparisons of their energy consumption patterns. Thus the aims of this study are examination of the energy consumption pattern, estimation of the amount of produced CO₂eq. and modeling between the yield and energy inputs in three forage crops. These forage crops that are fed to dairy cows were wheat straw, maize silage and alfalfa. The total amount of energy inputs in fields of wheat (and its straw), silage corn and alfalfa were calculated as: 32077.85, 93049.87 and 30208.04 MJ ha⁻¹ respectively. The amount of produced CO₂eq. in these three crops were estimated to be 2704.67, 5861.79 and 5538 respectively. The value of energy ratio in two crops of wheat and alfalfa were computed as 2.69 and 2.18 while in the silage crop due to higher amount of output energy rather than input energy was calculated less than one. Also, the adaptive neuro-fuzzy inference system was used for modeling the relation of the yield of these forage crops and the amount of energy inputs. For estimation of the model for wheat straw, the model with three 'gaussmf' memberships function for each input variables was the best among the other models. Also, the best model for maize silage and alfalfa were 'pimf' for tow memberships function and 'trapmf' for three memberships function, respectively.

Keywords: Energy Consumption Pattern, Greenhouse Gases, Modeling, Adaptive Neuro-fuzzy inference system

Surf and download all data from SID.ir: www.SID.ir

Translate via STRS.ir: www.STRS.ir

Follow our scientific posts via our Blog: www.sid.ir/blog

Use our educational service (Courses, Workshops, Videos and etc.) via Workshop: www.sid.ir/workshop