مدلسازی مصرف انرژی در تولید محصول سیب زمینی شهرستان جیرفت با روش شبکه عصبی فازی(ANFIS)

الهام بلندنظر[۱]، عباس روحانی[۲*]، لیلاعقبایی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تهران

* ایمیل نویسنده مسئول: arohani@um.ac.ir

چکیده

بخش کشاورزی به عنوان با اهمیت‌ترین بخش تولیدکننده مواد غذایی است که نه تنها مصرف کننده، بلکه عرضه کننده انرژی نیز شناخته شده است. استفاده از انرژی به عنوان یک پارامتر مفید برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی پایداری کشاورزی در نظر گرفته شده است. لذا در این تحقیق، به بررسی الگوی مصرف انرژی در مزارع سیب زمینی در شهرستان جیرفت از استان کرمان پرداخته شد. کل انرژی ورودی مورد نیاز در تولید محصول سیب زمینی برابر با ۸۴۳۸۰/۵۹ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. نهاده آب آبیاری با سهم ۳۷/۳۲ درصد از کل انرژی ورودی در تولید سیب زمینی بیشترین انرژی مصرفی بود. در این مطالعه روش شبکه عصبی- فازی برای مدلسازی عملکرد سیب زمینی به کار برده شد. نتایج جهت مدلسازی عملکرد این محصول نشان داد که بهترین مدل پیشنهادی جهت مدلسازی دارای ضریب همبستگی، RMSE و MAPE برابر ۹۷/ ۰، ۰/۰۴ kg/ha و ۰/۲٪ بود. از نتایج فوق چنین می‌توان گفت که روش عصبی- فازی می‌تواند به خوبی به پیش‌بینی و مدلسازی عملکرد محصول سیب زمینی بپردازد.

واژه‌های کلیدی: سیب زمینی، شبکه عصبی فازی ، شهرستان جیرفت

مقدمه

سیب‌زمینی گیاهی است از تیره سیب زمینیان که دارای برگهای مرکب و بریده و گلهای سفید یا بنفش است. این گیاه در آب و هوای سرد و مرطوب رشد می کند. میوه آن کوچک، کروی، قرمز، سته و سمی است؛ ولی دارای ساقه‌های زیرزمینی خوراکی است که حاوی اندوخته نشاسته فراوان است. این گیاه دارای رقم‌های مختلف است که آنها را به زودرس، دیررس و میانه رس تقسیم می کند و برحسب استفاده این گیاه به سیب زمینی خوراکی، علوفه‌ای و صنعتی (جهت استفاده الکل یا نشاسته و یا قند) تقسیم می شود. گیاه سیب زمینی در مناطقی که دمای هوا در محدوده‌ی ۱۸–۱۵ درجه ی سلسیوس و بارندگی فراوان است، کشت می گردد (Ben Khedher and Ewing, 1985; Marinus and Bodlaender, 1975; Menzel, 1985; Caldiz, 2001). در حال حاضر هر ساله در حدود ۳۲۳ میلیون تن سیب زمینی در سراسر جهان تولید می‌شود .بر طبق آمار فائو در سال ۲۰۰۷ تولید سیب زمینی ایران برابر با ۴/۵ میلیون تن بوده است (FAO, 2007). با بررسی سهم انرژی های ورودی در تولید سیب زمینی در استان اردبیل، کل انرژی ورودی برای تولید یک هکتار سیب زمینی ۸۱۶۲ مگاژول بر هکتار محاسبه شد، که بیشترین سهم را کود شیمیایی با سهم ۴۰ درصدی به خود اختصاص داد (محمدی و همکاران، ۲۰۰۸). ندرلو و همکاران از روش داده‌کاوی ANFIS برای پیش‌بینی عملکرد گندم آبی در شهرستان آبیک واقع در استان قزوین استفاده کردند. به دلیل تعداد زیاد ورودی‌ها (۸ ورودی) برای ANFIS، انرژی‌های ورودی به دو گروه تقسیم و سه انفیس ایجاد شد (ANFIS1، ANFIS2 و ANFIS3). ورودی‌ها برای ANFIS1 شامل انرژی‌های سوخت دیزل، کود و الکتریسیته و برای ANFIS2 شامل انرژی‌های نیروی کارگری، ماشین، سموم شیمیایی، آبیاری و بذر بودند. مقدارهای RMSE و R به ترتیب برابر ۰/۰۱۳ و ۰/۹۹۸ برای ANFIS1 و ۰/۰۱۸ و ۰/۹۹۶ به ترتیب برای ANFIS2 به‌دست آمدند. در نهایت مقدارهای پیش‌بینی شده از دو انفیس به عنوان ورودی‌های ANFIS 3 استفاده شد. همچنین مقدارهای RMSE و R برای ANFIS3 به ترتیب برابر ۰/۰۱۳ و ۰/۹۹۸ به دست آمد (Naderloo *et al*., 2012). بلندنظر و همکاران برای پیش بینی عملکرد خیار گلخانه ای نیز از این روش استفاده کردند نتایج این تحقیق نشان دادند که روش عصبی– فازی دارای دقت زیادی می‌باشد (بلندنظر و همکاران، ۱۳۹۴).

مطالعه حاضر با هدف بررسی وضعیت موجود در مصرف انرژی در مزارع سیب زمینی و مدل سازی مصرف آن در شهرستان جیرفت واقع در استان کرمان صورت گرفت. لذا در این تحقیق به معرفی منطقه مورد مطالعه، از لحاظ ویژگی‌های جغرافیایی و کشاورزی، روش‌های جمع‌آوری اطلاعات، حجم نمونه، روش نمونه‌گیری و روش عصبی– فازی[1] مورد استفاده پرداخته می‌شود.

مواد و روش ها

شهرستان جیرفت با وسعت ۸۶۰۲کیلومتر مربع معادل ۴/۶۱ درصد استان کرمان را به خود اختصاص داده است. این شهرستان از شمال به شهرستان کرمان، از جنوب به شهرستان کهنوج و فاریاب، از شرق به شهرستان بم و از غرب به شهرستان بافت مشرف و

[1]-neuro-fuzzy

دارای ۳مرکز شهری، ۴ بخش، ۱۴ دهستان و ۷۶۲ آبادی دارای سکنه می‌باشد. شهرستان جیرفت در ۲۸ درجه و ۴۰ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۷ درجه و ۴۴ دقیقه طول جغرافیایی قرار دارد. بر مبنای نتایج سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ تعداد ۲۷۷۷۴۸ نفر جمعیت این شهرستان می‌باشد که حدود ۹/۴ درصد جمعیت استان کرمان در آن سکونت دارند و رتبه سوم جمعیتی استان را به خود تخصیص داده است(Anonymous, 2013) . جنوب کرمان(شامل شهرستانهای جیرفت، کهنوج، عنبر آباد، منوجان، رودبارجنوب ،قلعه گنج و فاریاب) با داشتن ۷۹۴۷ هکتار از مجموع ۱۵۸۲۴۴ هکتار سطح اراضی مورد کشت محصول سیب زمینی در کشور، یکی از تولیدکنندگان عمده به شمار می رود که معادل ۵ درصد مجموع سطح زیر کشت این محصول درکشور است. همچنین میزان تولید در این محصول در جنوب کرمان ۴۵۹۷۶۳۱ تن می باشد (بی نام، ۱۳۹۱). برای انجام این تحقیق به منظور تعیین میزان انرژی نهاده‌های مصرفی در مزارع سیب زمینی و ارزیابی آن ها تعداد ۷۰پرسشنامه تهیه شد .تعداد پرسشنامه برای این تحقیق با استفاده از فرمول کوکران محاسبه شد (منصورفر، ۱۳۸۷).

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

که در آن N، اندازه جامعه آماری، 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 این جا واریانس بازده انرژی در مناطق مورد مطالعه است، d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n حجم نمونه است. در نهایت برای مزارع سیب زمینی ۷۰ پرسشنامه بین کشاورزان توزیع شد.

برای تعیین میزان انرژی معادل نهاده‌ها و ستاندهها از ضرایب انرژی متناظر با هر یک که در مطالعات پیشین مورد استفاده قرار گرفته‌اند، بهره گرفته شد. جهت محاسبه انرژی ورودی و خروجی معادل هر یک از نهاده‌ها و ستانده‌ها، میزان مصرف هر یک از آنها در ضریب هم‌ارز انرژی آن نهاده یا ستانده ضرب شد. ضرایب هم‌ارز انرژی برای نهاده‌ها و ستانده‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱ محتوای انرژی نهاده ها و ستانده ها در تولید سیب زمینی

نهاده	هم‌ارز انرژی(MJ/Unit)	مرجع
نهاده‌ها		
۱. نیروی انسانی (h)	۱/۹۶	(Yaldiz *et al*., 1993)
۲. ماشین (h)	۶۴/۸	(Bolandnazar *et al*., 2014)
۳. کودها (kg)		
ازته	۶۶/۱۴	(Shrestha., 1998)
فسفاته	۱۲/۴۴	(Shrestha., 1998)
پتاسه	۱۱/۱۵	(Shrestha., 1998)
میکرو	۱۲۰	(Shrestha., 1998)
کود دامی	۰/۳	(Singh, 2002)
۴. سموم شیمیایی (kg)		
قارچ کش	۲۱۶	(Ozkan *et al*., 2007)
علف کش	۲۳۸	(Ozkan *et al*., 2007)
حشره کش	۱۰۱/۲	(Ozkan *et al*., 2007)
۵. سوخت (L)	۵۶/۳۱	(Singh, 2002)
۷. آب آبیاری (m^3)	۱/۰۲	(Acaroglu,1998)
۸. بذر (kg)	۳/۶	(Singh, 2002)
ستانده‌ها		
سیب زمینی (kg)	۳/۶	(Esengun *et al*., 2007)

نظریه مجموعه‌های فازی اولین بار در سال ۱۹۶۵توسط عسگرزاده، دانشمند ایرانی تبار و استاد دانشگاه برکلی امریکا با معرفی نظریه مجموعه‌های فازی مقدمات مدلسازی اطلاعات نادقیق و استدلال تقریبی با معادله‌های ریاضی ایجاد گردید که در نوع خود تحولی عظیم در ریاضیات و منطق کلاسیک به‌وجود آورد. در سامانه‌های پیچیده‌ای که درک آنها مشکل می‌باشد و یا مسائلی که وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری هستند، منطق فازی به‌عنوان ابزاری مؤثر به‌شمار می‌رود. انتخاب یک روش و رویکرد مناسب برای مدلسازی یک سامانه، کاملاً بستگی به میزان پیچیدگی آن سامانه دارد و پیچیدگی هم ارتباط معکوس با

میزان دانش و شناخت ما از آن سامانه دارد. همیشه تلاش انسان بر این بوده که سامانه را با بیشترین دقت ممکن مدلسازی کند، اما چنانچه دقت کافی نسبت به آن نداشته باشد، مجبور است دقت موردنظر از مدل را با میزان شناخت خود از سامانه منطبق نماید (کوره پزان، ۱۳۸۴). اولین بار جانگ در سال ۱۹۹۳ توانست از قدرت زبانی سامانه‌های فازی و آموزش شبکه عصبی استفاده نماید و سامانه تحت عنوان سامانه -های فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی ارائه نماید (گل محمدی و صفوی، ۱۳۸۹). این سامانه‌ها، سامانه‌های استنتاج عصبی فازی تطبیقی[۲] نام گرفتند.

همان طور که از نام سامانه‌های تطبیقی پیداست، این سامانه‌ها شبکه‌ای را تشکیل می دهند که رفتار داده‌های ورودی و خروجی به وسیله مجموعه‌ای از پارامترهای تغییرپذیر تعیین می شود. نقشه کلی یک شبکه تطبیقی از مجموعهای گرهها تشکیل یافته است که به وسیله پیوندهای مستقیمی به هم وصل شده‌اند و هریک از گره‌ها در حکم واحد پردازشی می‌باشند که تابع پویایی را برای هر سیگنال ورودی اجرا میکند تا سیگنال خروجی را تولید کرده و هر پیوند نیز مشخص کننده جهت جریان از یک گره به گره دیگر است. اغلب یک تابع گره یک تابع پارامتریک است با پارامترهای تغییرپذیر؛ با تغییر این پارامترها، تابع گره و رفتار کلی شبکه تطبیقی تغییر می‌کند (Jang and Sun, 1997). آموزش این سامانه‌ها به این مفهوم است که با استفاده از داده‌های آموزشی پارامترهای غیرخطی مربوط به توابع عضویت فازی در لایه اول و پارامترهای خطی لایه چهارم طوری تعیین می‌شوند که به ازای ورودی دلخواه، خروجی مطلوب حاصل شود. روش آزمون هیبریدی یکی از مهمترین روش‌های آموزش سامانه‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی می‌باشد. در این روش جهت آموزش در لایه اول از روش پس انتشار خطا و در لایه چهارم سامانه از روش تخمین کمترین مربعات استفاده می‌شود (گل محمدی و صفوی، ۱۳۸۹).

ANFISکه برگرفته از عبارت سامانه استنتاج فازی–تطبیقی می‌باشد، شباهت بسیاری با سامانه استنتاج فازی دارد که تنها تفاوت آن این است که با کاربرد الگوریتم پس انتشار خطا به حداقل سازی خطا پرداخته می‌شود. عملکرد این روش به دو روش شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی بسیار شبیه می‌باشد. در هر دو روش مذکور، نهاده از لایه ورودی (توسط تابع عضویت ورودی) گذر کرده و سپس خروجی مدل در لایه خروجی (توسط تابع عضویت خروجی) به دست می‌آید. از آنجایی که در چنین مدل منطق فازی پیشرفت‌های از شبکه عصبی استفاده شده است، با استفاده از یک الگوریتم یادگیری می‌توان پارامترها را تا آنجا که به جواب بهینه دست یافت، تغییر داد. در حقیقت در این روش منطق فازی با استفاده از قابلیت‌های شبکه عصبی پارامترهای خود را تنظیم مینماید . بدیهی است که در شبکه عصبی مصنوعی با استخراج تفاوت بین خروجی حاصل از مدل و خروجی واقعی، عملکرد سامانه مورد ارزیابی قرار میگیرد. ANFIS با استفاده از دو الگوریتم پس انتشار خطا و یا الگوریتم ترکیبی که مشتمل بر دو الگوریتم تخمین حداقل مربعات خطا و پس انتشار خطا میباشد، پارامترها توابع عضویت را تخمین میزند (Jang *et al.*, 1997). در این تحقیق از

[2]- Adaptive Nero Fuzzy Inference System (ANFIS)

روش عصبی–فازی که ترکیبی از شبکه‌های عصبی و سامانه‌های فازی به منظور ایجاد یک ابزار قدرتمند در مدلسازی می‌باشد، جهت مدلسازی عملکرد با توجه به انرژی‌های ورودی (انرژی نیروی انسانی، سوخت، ماشین‌ها و ادوات، کود، سم، آب آبیاری و بذر) در مزارع سیب زمینی شهرستان جیرفت بهره گرفته شده است.

به منظور مدل‌سازی مسأله مورد مطالعه در این تحقیق با استفاده از روش عصبی – فازی به علت زیاد بودن تعداد ورودی‌ها (۸ ورودی برای هر یک از مدل‌سازی‌های مدنظر) و حساسیت روش انفیس در محاسبه با این تعداد ورودی، پارامترهای ورودی به چهار دسته تقسیم شدند و ۷ نوع انفیس (ANFIS1، ANFIS2، ANFIS3، ANFIS4، ANFIS5، ANFIS6 و ANFIS7) ایجاد شد. نتیجه نهایی، نتیجه به‌دست آمده ازANFIS7 می‌باشد. به منظور مدل‌سازی مد نظر به ترتیب ۷۵٪ و ۲۵٪ از گلخانه-ها به صورت تصادفی برای آموزش و آزمایش در نظر گرفته شدند. تمام انفیس‌ها با توابع عضویت مثلثی (trimf)، زنگوله-ای (gbellmf) و گوسی (gaussmf) با تعداد ورودی دو و سه مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند.

در این تحقیق از روش آزمون هیبریدی که یکی از مهم‌ترین روش‌های آموزش سامانه‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی می‌باشد، استفاده گردید. لازم به ذکر است که روش‌های داده کاوی (شبکه‌های عصبی مصنوعی و عصبی–فازی) با قابلیت کدنویسی در نرم‌افزار متلب انجام شده است.

جهت گزارش نتایج شبکه عصبی مصنوعی و عصبی– فازی، از معیارهای ضریب همبستگی[3] (R)، جذر میانگین مربعات خطا[4] (RMSE) و میانگین درصد خطای مطلق[5] (MAPE) استفاده شده است. فرمول مربوط به هر کدام در زیر بیان شده است (Anonymous, 2010):

$$r = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^{M}(P_i - \overline{P_i})(O_i - \overline{O_i})\right)^2}{\sum_{i=1}^{M}(P_i - \overline{P_i})^2 \sum_{i=1}^{M}(O_i - \overline{O_i})^2}} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i - A_i)^2} \quad (۳)$$

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{|P_i - A_i|}{A_i} \times 100\right) \quad (۴)$$

3- correlation coefficients
4- Root Mean Square Error
5- Mean Absolute Percentage Error

نتایج

با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده توسط پرسشنامه‌های تکمیل شده، میزان مصرف انرژی هر یک از نهاده‌ها با در نظر گرفتن هم‌ارز انرژی برای هر نهاده با توجه به جدول ۱، میزان انرژی مصرفی کل در مزارع سیب زمینی به‌دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ۳۷/۳۲ درصد از انرژی مصرفی در مزارع سیب زمینی به آبیاری اختصاص دارد و دلیل بالا بودن این انرژی استفاده از روش غرقابی می‌باشد.

جدول ۲ مقادیر و انرژی مصرفی نهاده و ستانده برای سیب زمینی

عنوان (واحد)	میزان مصرفی در هکتار	انرژی معادل (مگاژول بر هکتار)	درصد (٪)
الف- ورودی‌ها			
نیروی انسانی(h)	۱۳۵۲/۱	۲۶۵۱/۸۰	۳/۱۴
ادوات و ماشین‌ها	۱۳/۹۷	۹۰۵/۲۶	۱/۰۷
سوخت (L)	۱۴۳	۸۰۵۲/۳۳	۹/۵۴
کود			
ازته (kg)	۲۰۱/۶۳	۱۳۳۳۵/۸۱	۱۵/۸
فسفاته $(P_2O_5)(kg)$	۱۱۴/۱۷	۱۴۲۰/۲۷	۲
پتاسه $(K_2O)(kg)$	۱۲۳/۳۳	۱۳۷۵/۱۳	۱/۶۳
میکرو	۱۰/۸۷	۱۳۰۴/۴	۱/۵۵
دامی (kg)	۱۳۳۰۰	۳۹۹۰	۴/۷۳
سموم (kg)			
قارچ کش	۲/۴۵	۵۲۹/۲	۰/۶۳
علف کش	۱/۸۳	۴۳۵/۵۴	۰/۵۲
حشره کش	۲/۰۲	۲۰۴/۴۲	۰/۲۴
آب آبیاری(m^3)	۳۰۸۷۴/۹۳	۳۱۴۹۲/۴۳	۳۷/۳۲
بذر (kg)	۵۱۹۰	۱۸۶۸۴	۲۲/۱۴
انرژی ورودی کل (MJ/ha)		۸۴۳۸۰/۵۹	
ب- خروجی			
محصول (kg)	۳۶۱۰۰	۱۲۹۹۶۰	
انرژی خروجی کل (MJ/ha)		۱۲۹۹۶۰	

میزان کود برای تولید سیب زمینی بطور متوسط ۲۵/۷۱ درصد بعد از آبیاری بیشترین سهم انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. عمده کودهای مورد استفاده در مزارع سیب زمینی را کودهای ازته (۱۵/۸ درصد)، فسفر (۲ درصد)، پتاس (۱/۶۳ درصد) و دامی (۴/۷۳ درصد) تشکیل می‌دهند. چنان‌که از جدول (۲) نیز مشخص است، در تولید محصول سیب زمینی انرژی ادوات و ماشین آلات و سموم کمترین مقدار را در بین انرژی سایر نهاده‌ها به خود اختصاص می‌دهند. در کل میزان انرژی مصرفی برای تولید سیب زمینی این منطقه ۸۴۳۸۰/۵۹ مگاژول بر هکتار می‌باشد. انرژی خروجی کل برای سیب زمینی ۱۲۹۹۶۰ مگاژول بر هکتار برآورد شده است.

سیگنال‌های ورودی در تدوین مدل‌سازی مورد نظر در این تحقیق، انرژی بذر و کارگر برای ANFIS1 ، انرژی کود شیمیایی و دامی برای ANFIS2، انرژی ماشین‌ها و ادوات و سوخت برای ANFIS3، انرژی سموم شیمیایی و آبیاری برای ANFIS4، بهترین عملکرد پیش‌بینی شده از دو انفیس (ANFIS1 و ANFIS2) برای ANFIS5، بهترین عملکرد پیش‌بینی شده از دو انفیس (ANFIS3 و ANFIS4) برای ANFIS6 و بهترین عملکرد پیش‌بینی شده از دو انفیس (ANFIS5 و ANFIS6) برای ANFIS7 در نظر گرفته شد و خروجی برای تمام مدل‌های انفیس میزان عملکرد بود.

برای مدل‌سازی عملکرد محصول سیب زمینی از توابع عضویت مختلف شامل 'trimf' ، 'gbellmf' و 'gaussmf' با تعداد ورودی دو و سه استفاده گردید. مشخصات بهترین مدل جهت مدل‌سازی برای هر انفیس در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مشخصات انفیس های پیشنهادی برای مدل سازی عملکرد محصول سیب زمینی

عنوان	نوع تابع عضویت		تعداد توابع عضویت		الگوریتم یادگیری	R	RMSE	MAPE (%)
	ورودی	خروجی	ورودی	اپوک				
انفیس ۱	زنگوله‌ای	خطی	۳،۳	۴۰	هیبرید	۰/۵۴	۰/۱۲	۰/۸۱
انفیس ۲	زنگوله‌ای	خطی	۳،۳	۴۰	هیبرید	۰/۷۸	۰/۰۹	۰/۶۰
انفیس ۳	زنگوله‌ای	خطی	۳،۳	۴۰	هیبرید	۰/۷۹	۰/۰۸	۰/۵۸
انفیس ۴	زنگوله‌ای	خطی	۳،۳	۴۰	هیبرید	۰/۸۶	۰/۰۷	۰/۴۷
انفیس ۵	زنگوله‌ای	خطی	۳،۳	۴۰	هیبرید	۰/۸۷	۰/۰۷	۰/۴۵
انفیس ۶	زنگوله‌ای	خطی	۳،۳	۴۰	هیبرید	۰/۹۱	۰/۰۶	۰/۳۴
انفیس ۷	زنگوله‌ای	خطی	۳،۳	۴۰	هیبرید	۰/۹۷	۰/۰۴	۰/۲۰

تمامی انفیس‌ها (ANFIS1، ANFIS2، ANFIS3، ANFIS4، ANFIS5، ANFIS6 و ANFIS7) با تابع عضویت زنگوله‌ای (gbell) به ترتیب با مقدار ضریب همبستگی ۰/۵۴، ۰/۷۸، ۰/۷۹، ۰/۸۶، ۰/۸۷، ۰/۹۱ و ۰/۹۷ به عنوان بهترین مدل معرفی شدند.

نتایج تحقیق بلند نظر و همکاران برای مدل‌سازی عملکرد محصول خیار گلخانه ای در شهرستان جیرفت با استفاده از روش عصبی–فازی نشان داد تمامی انفیس‌ها (ANFIS1، ANFIS2، ANFIS3، ANFIS4، ANFIS5، ANFIS6 و ANFIS7) با تابع عضویت زنگوله‌ای (gbell) به ترتیب با مقدار ضریب همبستگی ۰/۶۳۵۱، ۰/۶۴۶۳، ۰/۶۷۲۳، ۰/۷۸۲۱، ۰/۹۰۰۱، ۰/۹۲۱۳ و ۰/۹۸۷۴ به عنوان بهترین مدل معرفی شدند (بلندنظر و همکاران، ۱۳۹۴).

نتیجه گیری و پیشنهادات

بالاترین مصرف انرژی برای تولید محصول سیب زمینی با مصرف ۳۷/۳۲٪ و ۲۵/۷۵٪ به ترتیب مربوط به نهاده‌های آب آبیاری و کود می‌باشد. انرژی خروجی کل برای مزارع سیب زمینی به ترتیب برابر با ۱۲۹۹۶۰ مگاژول بر هکتار محاسبه گردید. . نتایج روش ANFIS برای مدلسازی عملکرد در مزارع سیب زمینی نشان داد که بهترین مدل پیشنهادی جهت مدلسازی عملکرد دارای ضریب همبستگی، RMSE و MAPE برابر ۰/۹۷ kg/ha، ۰/۰۴ و ۰/۲٪ بود . با توجه به اینکه دو نهاده آب آبیاری و کود بیشترین مصرف انرژی را در میان نهاده‌های مصرفی در مزارع سیب زمینی به خود اختصاص داده‌اند، برنامه‌ریزی در جهت کاهش مصرف آن‌ها می‌تواند نقش مهمی در بهبود شاخص‌های انرژی داشته باشد. برای کاهش مصرف نهاده آب آبیاری باید استفاده از روش غرقابی برای آبیاری این مزارع کاهش و روش های نوین آبیاری (قطره ای) افزایش پیدا کند. در مورد کودهای شیمیایی می‌توان با آموزش صحیح کشاورزان در مورد نوع کود مورد نیاز، زمان کوددهی و میزان درست مصرف کود، از مصرف بیش از حد آنها کاست. با توجه به روش‌های مورد استفاده در این تحقیق، به‌کارگیری سایر روش‌ها در راستای مقایسه با نتایج این تحقیق و همچنین انجام تحقیقات مشابه در سایر نقاط کشور به منظور انجام مطالعات مقایسه‌ای توصیه می‌گردد.

منابع

بلندنظر، ا.، ع. کیهانی، و م. امید. ۱۳۹۴. مدلسازی مصرف انرژی در تولید محصول گلخانه ای خیار شهرستان جیرفت با روش شبکه عصبی فازی(ANFIS). نهمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج).

بی نام.۱۳۹۱.آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی جنوب کرمان.

کوره‌پزان دزفولی، ا. ۱۳۸۴. اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربرد آن در مدل‌سازی مسایل مهندسی آب. انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، تهران.

گل محمدی، م.ح. و ح.ر. صفوی. ۱۳۸۹. پیش بینی سری‌های زمانی تک متغیره هیدرولوژیکی با استفاده از سامانه فازی برپایه شبکه عصبی تطبیقی. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.

منصورفر، ک. ۱۳۸۷. روش‌های آماری. انتشارات دانشگاه تهران.

Acaroglu, M. 1998. Energy from biomass, and applications. University of Selcuk, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Textbook.

Anonymous.2010. NeuroDimension, Inc, Neurosolution for excel. Available from: http://www.neurosolutions. com/.

Anonymous.2013. Available online at URL: http://www.maj.ir/. 2013.

Ben Khedher, M., and E.E. Ewing. 1985. Growth analysis of eleven potato cultivars grown in the greenhouse under long photoperiods with and without heat stress. Am Potato J 62: 537-54.

Bolandnazar, E., A. Keyhani, and M. Omid. 2014. Determination of efficient and inefficient greenhouse cucumber producers using Data Envelopment Analysis approach, a case study: Jiroft city in Iran. Journal of Cleaner Production.

Caldiz, D.O., F.J. Gaspari, A.J. Haverkort, Struik PC. 2001. Agroecological zoning and potential yield of single or double cropping of potato in Argentina. Agric for Meteorol. 109(4):311-20.

Esengun, K., G. Erdal, O. Gündüz, and H. Erdal. 2007. An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. Renewable Energy 32: 1873-1881.

Jang, J.S.R., and C.T. Sun. 1995. Neuro-Fuzzy modeling and control. Proceedings of the IEEE 83(3): 378-406.

Marinus, J., and K.B.A. Bodlaender. 1975. Response of some potato varieties to temperature. Potato Res 18:189-204.

Menzel, C.M. 1985. The control of storage organ formation in potato and other species, a review part 1. Field Crop Abstr 38(9):527-37.

Mohammadi, A. Tabatabaeefar, A. Shahin, S. Rafiee, S. and A. Keyhani. 2008. Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study. Energy Conversion and Management 49: 3566–3570.

Naderloo, L., and R. Alimardani, M. Omid, F. Sarmadian, P. Javadikia, M.Y. Torabi, and F. Alimardani. 2012. Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. Measurement 45: 1406-1413.

Ozkan, B., C. Fert and C. F. Karadeniz. 2007. Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. Energy 32: 1500–1504.

Shrestha, D.S. 1998. Energy use efficiency indicator for agriculture. Available from: <http://www.usaskca/agriculture/caedac/PDF/mcrae.PDF,10/10/2002>.

Singh, J.M. 2002. On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India Master of Science thesis, Int. Inst. Of Management University of Flensburg, Sustainable Energy Systems and Management, Germany.

Yaldiz, O., H.H. Ozturk, Y Zeren, and A. Bascetomcelik. 1993. Energy usage in production of field crops in Turkey. Proceedings of the 5th International congress on mechanization and energy use in agriculture. 11–14 October, Kusadasi, Turkey.