نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج

پیش‌بینی انرژی خروجی (عملکرد محصول) در تولید سیب‌زمینی با رویکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی

سجاد ابراهیمی[۱*]، یحیی عجب‌شیرچی[۲] و امیر علی‌پسندی[۳]

۱– فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه تبریز

۲ و ۳– به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری گروه مهندسی *مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه تبریز*

ایمیل مکاتبه کننده: s.ebrahimi89@ms.tabrizu.ac.ir

چکیده

هدف از این مطالعه پیش‌بینی انرژی خروجی (عملکرد محصول) در مزارع مکانیزه سیب‌زمینی با رویکرد شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی می‌باشد. داده‌ها از مزارع سیب‌زمینی شهرستان اردبیل در سال زراعی ۹۲-۹۱ جمع‌آوری گردید. و سپس شاخص‌های مهم انرژی مانند کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و انرژی خالص کسب شده محاسبه گردید که مقدار آنها به ترتیب ۱/۱۳، ۰/۳و ۹۰۲۶ به‌دست آمد. علاوه بر ۸ ورودی کمی اندازه‌گیری شده، ۲ نمونه از داده‌های کیفی تأثیرگزار در عملکرد محصول نیز اندازه‌گیری شد. و سپس این ۲ نمونه کیفی با استفاده از منطق فازی به یک شاخص کمی تبدیل شد و به عنوان ورودی نهم وارد مدل شدند. با استفاده از نرم افزار MATLAB داده‌ها پیش‌بینی شدند. برای ارزیابی مدل پیش-بینی از پارامترهای آماری مانند مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجموع مربعات خطا (SSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. نتایج ارزیابی عملکرد مدل نشان داد که مدل ارائه شده توانایی پیش‌بینی انرژی را تحت تاثیر پارامترهای کیفی و کمی، با دقت بالا را دارد و با افزایش تعداد نمونه‌ها میزان دقت پیش‌بینی نیز افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: انرژی، پیش‌بینی، سیب‌زمینی، شبکه‌عصبی، منطق فازی

۱-مقدمه

سیب‌زمینی (Solanum tuberosum L) یکی از محصولات مهم و عمده زراعی در جهان محسوب می‌شود و در شمار اصلی‌ترین غذای تأمین انرژی انسان‌ها قرار گرفته است. این گیاه به علت داشتن خصوصیات مطلوب از قبیل ارزش غذایی بالا و سازگاری با محیط‌های مختلف از گیاهان زراعی بسیار مهم است و پس از گندم، ذرت و برنج از مهمترین محصولات کشاورزی جهان به شمار می رود و تقریباً درتمام جهان کشت می‌شود بر اساس گزارش فائو، سطح زیرکشت سیب‌زمینی درجهان طی سال ۲۰۰۰ حدود ۱۹۵۹۷۴۲۰ هکتار می‌باشد. کشورهای چین، فدراسیون روسیه، اکراین، هند، لهستان و آمریکا از لحاظ سطح زیرکشت و تولید به‌ترتیب مهمترین تولیدکنندگان سیب‌زمینی درجهان به شمار می‌روند(فائو، ۲۰۱۳). استان اردبیل از عمده‌ترین استان‌های تولید کننده این محصول در کشور ایران با سطح زیر کشت ۲۳۶۵۶ هکتار و میانگین تولید ۳۱/۵ تن در هکتار در سال زراعی ۹۲-۹۱ محسوب می‌شود (بی‌نام،۱۳۹۱). تعیین رابطه بین تولیدات کشاورزی و انرژی

مصرفی از اولویت‌های مهم توسعه کشاورزی پایدار است و تاکنون محققان مطالعاتی را جهت تعیین رابطه بین انرژی مصرفی و عملکرد محصول، انجام داده‌اند. در گذشته، از مدل‌های ریاضی برای پیدا کردن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های یک فرآیند استفاده می‌شد. اما این رویکرد منطق کلاسیک نیاز به تعریف دقیقی از معادلات مدل ریاضی توصیف شده برای آن پدیده داشت. امروزه، اثبات شده است که در بسیاری از کاربردها روش منطق فازی (FL)[۱] به‌عنوان یکی از راه حل‌های تحقق اهداف هوش مصنوعی (AI)[۲] نسبت به چارچوب‌های ریاضی کلاسیک برتری دارند. زیرا منطق فازی از نظر مفهومی بسیار ساده و انعطاف‌پذیر می‌باشد. در واقع به آسانی می‌توان یک سیستم فازی را برای حل یک مسئله پیچیده با استفاده از قوانین اگر- آنگاه سازماندهی نمود. شبکه عصبی مصنوعی، دیگر روشی است که با مدل‌سازی ارتباطات سیناپسی و ساختار نرونی مغز انسان، رویکردی برای پیاده‌سازی مصنوعی ویژگی‌های فیزیولوژیک آنهاست. هر چند که شبکه‌های عصبی مصنوعی با مدل واقعی مغز فاصله زیادی دارند، اما توانایی این شبکه‌ها در کشف روابط غیرخطی میان داده‌های ورودی و استخراج مدل دینامیک غیرخطی حاکم بر داده‌ها قابل ملاحظه بوده و در مقایسه با مدل‌های مرسوم، این مدل‌ها به ورودی‌های کمتر و تلاش محاسباتی اندکی نیاز دارند (رحیمی اجدادی و عباسپور گیلانده،۲۰۱۱).

در بسیاری از تحقیقات انجام شده برتری مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل رگرسیونی کلاسیک گزارش شده است. منعم و همکاران ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری را با استفاده از منطق فازی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که کاربرد ترکیبی از شاخص‌های کمی و کیفی که در روش‌های مرسوم امکان‌پذیر نبود، با استفاده از این روش به راحتی امکان‌پذیر است. در نظر گرفتن متغیرهای غیر دقیق با مرزهای گسترده و دامنه‌دار که در روش‌های معمول انجام نمی‌شود، در این روش می‌تواند امکان اعتماد بیشتری را نسبت به نتایج ارزیابی فراهم نماید (منعم و همکاران، ۱۳۸۴). نادرلو و همکاران(۲۰۱۲)، مدلی را بر اساس سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی برای پیش‌بینی عملکرد محصول گندم بر اساس انرژی‌های مختلف ورودی ارائه دادند و به این نتایج دست یافتند که انرژی های پر مصرف سوخت دیزل، کود و الکتریسیته بیشترین تاثیر را نسبت به سایر انرژی های ورودی در پیش بینی دارند.
در این مطالعه برای پیش‌بینی انرژی خروجی (عملکرد محصول) از شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌خور دو لایه استفاده شده است که تابع انتقال آن در لایه‌ی اول به صورت سیگموئیدی بوده و در لایه‌ی دوم خطی است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- جمع‌آوری داده‌ها

استان اردبیل واقع در شمال غرب ایران با موقعیت جغرافیایی طول شرقی حداقل ۴۷درجه و ۴۸ دقیقه و حداکثر ۴۸درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و با عرض شمالی حداقل ۳۷ درجه و۵۶ دقیقه وحداکثر ۳۸ درجه و ۳۳ دقیقه در مرکز استان اردبیل قرار گرفته است (محمدی و همکاران، ۲۰۰۸). مجموع کل مساحت استان اردبیل ۱۷۹۵۳۰۰ هکتار می باشد که زمین های

۱. Fuzzy logic
۲. Artificial Intelligent

کشاورزی با مساحت ۷۶۹۰۰۰ هکتار ۴۳/۶ درصد از مجموع کل مساحت استان را شامل می‌شود (بی‌نام،۱۳۹۱). داده های آزمایشی در این مطالعه از کشاورزان سیب زمینی کار در شهرستان اردبیل جمع‌آوری گردید. مزارع به صورت تصادفی و از بین روستاهای موجود در سطح شهرستان اردبیل انتخاب شدند. اطلاعات لازم توسط پرسشنامه و به صورت مصاحبه حضوری از ۶۰ کشاورز سیب زمینی کار به طور تصادفی و با استفاده از دانش افراد خبره جمع‌آوری گردید. برای تعیین حجم نمونه از رابطه کوکران به شرح رابطه زیر استفاده گردید (کوکران، ۱۹۷۷):

$$n = \frac{N(t.s)^2}{Nd^2 + (t.s)^2} \quad (1)$$

که در آن n: حجم نمونه، N: اندازه جامعه آماری، t: ضریب اطمینان، S^2 : برآورد واریانس صفت مورد مطالعه (s انحراف معیار صفت مورد مطالعه) و d: دقت احتمالی مطلوب می‌باشد.

انرژی‌های کمی ورودی شامل انرژی کارگری، انرژی استهلاک ماشین‌آلات، انرژی آبیاری مزارع، انرژی بذر، کودهای شیمیایی ، حیوانی ، سموم آفت کش‌ها و انرژی سوخت دیزل می باشند. انرژی محصول سیب زمینی به دست آمده نیز به عنوان انرژی خروجی محسوب می شود. شاخص‌های کیفی نیز در دو پارامتر حاصلخیزی خاک و مطلوبیت انجام عملیات کشاورزی با استفاده از منطق فازی به یک شاخص کمی تبدیل شد و به عنوان یک ورودی در نظر گرفته شد. انرژی های ورودی و خروجی با استفاده از هم ارزهای انرژی که در جدول ۱درج شده‌اند، حساب گردید.

جدول شماره ۱ ضرایب و هم ارزهای انرژی های ورودی وخروجی

نوع ورودی و خروجی	واحد	ضرایب انرژی (MJ)	مرجع
A: ورودی ها	-	-	-
۱-استهلاک ماشین ها	-	-	-
تراکتور	Kg yr[a]	۹-۱۰	Khoshnevisan et al., 2013
ادوات	Kg yr[a]	۶-۸	Khoshnevisan et al., 2013
۲-انسان	H	۱/۹۶	Khoshnevisan et al., 2013
۳- سوخت دیزل	L	۴۷/۸	Khoshnevisan et al., 2013
۴- کودهای شیمیایی	-	-	-
ازت (N)	kg	۶۶/۱۴	Pishgar-Komleh et al., 2012
فسفر(p2 o5)	kg	۱۲/۴۴	Pishgar-Komleh et al., 2012
پتاس(k2o)	kg	۱۱/۱۵	Pishgar-Komleh et al., 2012
۵- آفت کش‌ها(میکرو)	kg	۱۲۰	Pishgar-Komleh et al., 2012
۶- کود حیوانی	kg	۰/۳	Pishgar-Komleh et al., 2012
۷- بذر	kg	۳/۶	Khoshnevisan et al., 2013

۸- آبیاری	m^3	۱/۰۲	Khoshnevisan et al., 2013
B :خروجی	–	–	–
۱- سیب‌زمینی	kg	۳/۶	Khoshnevisan et al., 2013

[a]عمر اقتصادی ماشین (سال)

۲-۲- شاخص‌های انرژی

با استفاده از شاخص‌های انرژی می‌توان مراحل مختلف تولید محصول و مقایسه بازدهی انرژی را در تولید محصولات مختلف با روش‌های متفاوت در اکثر مناطق بررسی کرد. این شاخص‌ها که روابط بین انرژی‌های ورودی، خروجی و محصول به دست آمده را نشان می دهد، به صورت زیر محاسبه شدند(عجب‌شیرچی، ۱۳۹۰) :

(۲) انرژی نهاده / انرژی ستانده = نسبت انرژی

(۳) انرژی نهاده / عملکرد وزنی محصول= بهره‌وری انرژی

(۴) انرژی نهاده – انرژی ستانده = انرژی خالص کسب شده

۲-۳- منطق فازی

منطق فازی منطق انسانی و زبانی است. با این منطق می‌توانیم طرز فکر خودمان را به نحو ساده و به راحتی در قالب دستورات ریاضی بیان کنیم. این علم، علم مدلل‌سازی و فکر کردن بوده و با این منطق می‌توانیم کیفیت‌ها را به کمیت‌ها تبدیل کنیم. منطق فازی ابزاری توانمند جهت حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده‌ای که درک آنها مشکل و یا اطلاعاتی که در مورد آنها در اختیار می‌باشد، مبهم وغیر صریح است و یا مسائلی که وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری می‌باشند، به شمار می‌آید(قلی‌پور،۱۳۹۱). ما به طور گسترده‌ای در مسائل مهندسی و مدیریتی با عدم قطعیت و عدم صراحت روبرو هستیم که از جمله در این پژوهش می‌توان به مطلوبیت انجام عملیات زراعی و حاصل‌خیزی خاک مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه، اشاره کرد. این منطق در واقع روش جدیدی برای محاسباتی کردن مفاهیم و کمیت‌های حسی و کیفی ارائه می‌دهد.

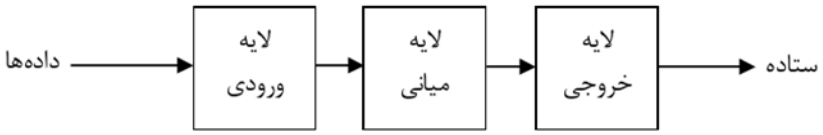
در پژوهش حاضر از منطق فازی برای کمی کردن متغییری که مقدار آن به صورت کیفی در پرسش‌نامه ثبت شده بود ، استفاده شد. برای انجام این کار با در اختیار داشتن دو شاخص کیفیت خاک (soil quality) و مطلوبیت انجام کار(work optimization) به صورت کیفی برای هر مزرعه، با گسسته کردن شاخص کیفیت خاک (soil quality) به ۴ گروه (با توجه به اینکه طبقه بندی خاک مزارع مورد مطالعه منطقه از لحاظ حاصلخیزی به ۴ گروه دسته بندی می شدند) و اختصاص تابع عضویت مثلثی به هر یک از بازه‌ها به صورتی که ۱۰ درصد همپوشانی بین بازه ها وجود داشته باشد، انجام شد. برای شاخص مطلوبیت انجام کار(work optimization) نیز این رویه تکرار شد با این تفاوت که این شاخص با داشتن ۳ سطح کیفت انجام کار در زمان لازم و به میزان لازم به ۳ تابع عضویت مثلثی بامقدار همپوشانی متفاوت در خروجی سیستم منطق فازی نگاشت شد. در خروجی سیستم منطق فازی نیز از ۴ تابع عضویت مثلثی استفاده شد. انتخاب شکل تابع عضویت و مقدار

همپوشانی آنها از قاعده خاصی پیروی نمی‌کند و به تجربه محقق بستگی دارد و بیشتر بر اساس آزمون و خطا صورت می-گیرد و حالتی که خروجی سیستم به واقعیت نزدیک‌تر است، انتخاب می‌شود. در این مطالعه نیز از آزمون و خطا برای انتخاب شکل تابع عضویت ورودی وخروجی و مقدار همپوشانی آنها استفاده شد.

۲-۴- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌ی عصبی مصنوعی، مدل ساده شده‌ای از یک سیستم مرکزی است که ساختار مغز انسان را الگو قرار می‌دهد و با استفاده از ساختار محاسباتی پیچیده‌ی ارتباط درون نرون‌ها[۳]، توانایی واکنش به تغییرات و تطابق با محیط داده‌ها را به وجود می‌آورد. شبکه‌ی عصبی مصنوعی با پردازش داده‌های[۴] موجود، دانش یا قوانین نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کند و بر اساس محاسبات بر روی داده‌های عددی یا مثال‌ها، قوانین کلی را فرا می‌گیرد.از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های عصبی، قابلیت یادگیری[۵] آنها است. قابلیت یادگیری عبارت از توانایی تنظیم پارامترهای شبکه در مسیر زمان و با شرایط مختلف است؛ با این هدف که شبکه‌ی آموزش داده شده برای یک وضعیت خاص، علی‌رغم تغییرات کوچک محیطی، بتواند کارامدی خود را حفظ نماید. پس از آموزش لازم، شبکه می‌تواند در صورت برخورد با یک ورودی جدید که در جریان آموزش با آن مواجه نشده است، از فرایند درونیابی[۶] استفاده کند و خروجی[۷] مناسبی را ارئه نماید. به عبارت دیگر شبکه بر اساس آموزش، الگوریتم را می‌آموزد و رابطه‌ی تحلیلی مناسبی را برای تعدادی از نقاط در فضا به دست می‌آورد (منهاج، ۱۳۸۴ و کارتالوپوس،۱۳۸۲).

ساختار کلی شبکه‌های عصبی مصنوعی شامل لایه‌ی ورودی[۸]، لایه‌ی میانی[۹]و لایه‌ی خروجی[۱۰] است (کارتالوپوس،۱۳۸۲).

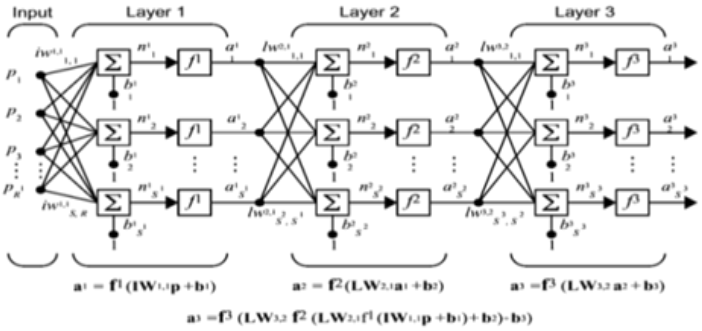


شکل ۱: ساختار کلی شبکه‌ی عصبی

در این ساختار، نرون کوچک‌ترین واحد پردازش‌گر اطلاعات است که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد (بیل و جکسون، ۱۳۸۳). واحد دیگری از مجموعه‌ی محاسباتی شبکه‌های عصبی مصنوعی، تابع فعال‌ساز[۱۱](تابع انتقال) که بر اساس نیاز خاص مساله انتخاب می‌شود (منهاج، ۱۳۸۴ و زراءنژاد و همکاران، ۱۳۸۷).
از بین روش‌های موجود برای تحلیل شبکه، از الگوریتم‌های گرادیان توأم و روش لونبرگ – مارکوارت استفاده شد.

[3]Neurons
[4]Data Processing
[5]Learning
[6]Interpolation
[7]Output
[8]Input Layer
[9]Hidden Layer
[10]Output Layer
[11]Activation Function

در بین انواع شبکه‌های مصنوعی، پرسپترون[12] از جمله کاربردی‌ترین شبکه‌ها هستند که قادر است با انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و سلول‌های عصبی و نیز انتخاب درست الگوریتم یادگیری، یک برآورد غیرخطی با دقت دلخواه انجام دهد. در شبکه‌های عصبی پرسپترون، هر نرون در هر لایه به تمامی نرون‌های لایه‌ی قبل متصل است (منهاج، ۱۳۸۴).



شکل ۲: نمایشی از اتصال نرون‌ها به یکدیگر در یک شبکه‌ی چند لایه

هر نرون در شبکه‌ی پرسپترون چند لایه دو محاسبه انجام می‌دهد (شکل ۲). در محاسبه‌ی اول، سیگنال تابعی را محاسبه می‌کند؛ و در محاسبه‌ی دوم، تخمین لحظه‌ای منحنی خطا را نسبت به پارامترهایی که ورودی نرون را به خود نرون متصل می‌کند، ارائه می‌دهد (منهاج، ۱۳۸۴ و آقایی و پورمیری، ۱۳۸۵).

۲-۵ طراحی شبکه‌ی عصبی مصنوعی و تجزیه و تحلیل نتایج

ورودی شبکه ۸ داده‌ی مربوط به متغیرهای کمی مصرف انرژی در مزارع و شاخصی است که نتیجه‌ی کمی شده‌ی دو شاخص مربوط به حاصلخیزی خاک ومطلوبیت انجام عملیات کشاورزی است. عملیات کمی شدن دو متغییر کیفی در قالب یک متغیر کمی در منطق فازی انجام گرفت. داده‌های مربوط به مصرف انرژی در مزارع برای ۶۰ مزرعه جمع‌آوری شده بود بنابراین ورودی شبکه یک ماتریس با ۹ ستون (متغییرهای کمی مصرف انرژی) و ۶۰ سطر (تعداد مزارع) می‌باشد. ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش شبکه، ۱۵ درصد برای مجموعه‌ی معتبرسازی و ۱۵ درصد برای مجموعه‌ی ارزیابی استفاده شد. برای جلوگیری از اشباع شبکه (آموزش بیش از حد) و گرفتار نشدن شبکه در منیمم‌های محلی، معمولا داده‌ها در بازه‌ی [۰،۱] یا [۱،۱-] نرمال‌سازی می‌شوند. در پژوهش حاضر با استفاده از رابطه‌ی زیر داده‌ها در بازه‌ی [۰،۱] نرمال‌سازی شده‌اند (ساج کومار و همکاران،۱۹۹۹):

$$Xnorm = \frac{X - X_{min}}{Xmax - Xmin} \qquad (۵)$$

که در آن: Xnorm: مقادیر نرمال شده، X: مقدار مشاهده شده، Xmax و Xmin: به ترتیب مقادیر ماکزیمم و مینمم مشاهده شده است.

در این شبکه یک لایه‌ی میانی در نظر گرفته شده است. تعداد نرون‌های مخفی (در لایه‌ی میانی) از روش آزمون و خطا تعیین شد. بدین ترتیب که برای هر الگوریتم آموزشی تعداد نرون‌های مخفی از یک شروع شده به ازای هر نرون ۵ بار شبکه را

[12]Perceptron

آموزش داده و مقادیر شاخص‌های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجموع مربعات خطا (SSE) و ضریب تبیین (R^2) در هر مرحله برای آن شبکه به دست آمد و نتایج وزن‌ها و بایاس‌های هر شبکه در مرحله‌ی مربوط به خود ذخیره شد تا هنگامی که تعداد بهینه‌ی نرون برای هر یک از توابع آموزشی مشخص شد بتوان از نتایج شبکه‌ی مشخص شده استفاده کرد. ذخیره‌ی نتایج، وزن‌ها و بایاس‌ها برای چنین مطالعاتی لازم است زیرا هم برای یک عدد نرون مخفی در تکرارهای متفاوت و هم برای اعداد متفاوت نرون‌های مخفی نتایج به دست آمده متفاوت می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ تحلیل شاخص‌های انرژی

در جدول۲ مقادیر ورودی‌ها و خروجی و در جدول۳ شاخص‌های انرژی نشان داده شده است. طبق نتایج به دست آمده کل انرژی مصرف شده در طی عملیات فصل زراعی برابر۹۹۷۲۵/۹۶ مگاژول در هکتارمی باشد که بالاترین میزان مصرف انرژی مربوط به کودهای شیمیایی است که۴۲/۷۳درصد را به خود اختصاص داده است وعلت آن به دلیل مصرف بی رویه این نهاده ها می باشد. شاخص نسبت انرژی برابر ۱/۱۳ بدست آمده است که در مقایسه با سایر پژوهش‌های انجام یافته در این زمینه اختلاف چندانی وجود ندارد.

جدول۲-میانگین سهم ورودی‌ها وخروجی کمی انرژی در کشت یک هکتار سیب‌زمینی

ورودی‌ها	انرژی معادل (MJ)	درصد از مصرف کل
۱- ساخت و استهلاک ماشین ها	۱۶۲۶/۴۴	۱/۶۴
۲- بیولوژیک انسان	۱۰۱۴/۷۶	۱/۰۲
۳- سوخت دیزل	۱۴۸۴۷/۸۶	۱۴/۸۸
۴- کودهای شیمیایی	۴۲۶۲۰/۳	۴۲/۷۳
۵- آفت کش‌ها	۶۵۷,۵	۰/۶۶
۶- کود حیوانی	۳۳۲۵	۳/۳۴
۷- بذر	۱۳۶۹۸	۱۳/۷۳
۸- آبیاری	۲۱۹۳۵/۱	۲۲
کل انرژی ورودی کمی	۹۹۷۲۴/۹۶	۱۰۰
کل انرژی خروجی	۱۱۳۴۳۰	-

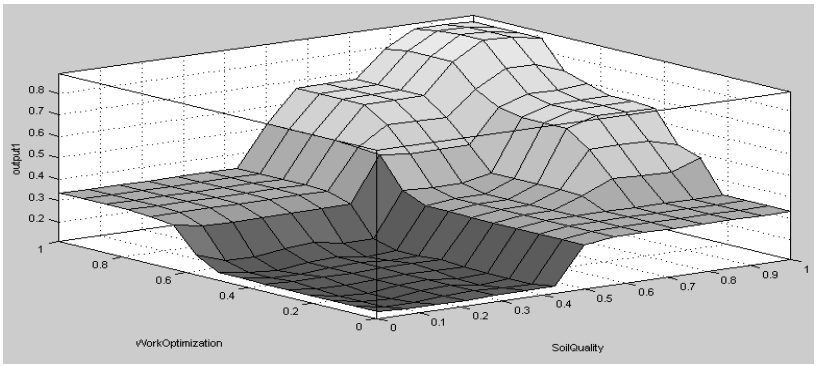
جدول ۳شاخص‌های انرژی در کشت یک هکتار سیب‌زمینی

شاخص‌های انرژی	واحد	مقدار	درصد
کارایی انرژی	بی بعد	۱/۱۳	-
بهره‌وری انرژی	Kg/MJ	۰/۳	-
انرژی خالص کسب شده	MJ/ha	۹۰۲۶	-

انرژی مستقیم	MJ/ha	۵۱۴۹۵/۷۲	۵۱/۶۳
انرژی غیر مستقیم	MJ/ha	۴۸۲۲۹/۲۴	۴۸/۳۷
انرژی تجدید پذیر	MJ/ha	۳۹۹۷۲/۸۶	۴۰/۰۸
انرژی تجدید ناپذیر	MJ/ha	۵۹۷۵۲/۱	۵۹/۹۲

۳-۲- ارزیابی نتایج مدل منطق فازی

با در اختیار داشتن ۴ تابع عضویت برای شاخص کیفیت خاک (Soil quality) و ۳ تابع عضویت برای مطلوبیت انجام کار(work optimization)، ۱۲ قانون فازی نوشته شد(MATLAB, R2011). قوانین ترکیبی که تاثیر بیشتری در عملکرد محصول داشتند وزن بیشتری را به خود اختصاص دادند و بالعکس. شکل ۳ خروجی سیستم فازی را نشان می‌دهد.



شکل ۳ خروجی سیستم مدل فازی

مشاهده می‌شود که متغییر منتج شده از سیستم فازی در حالتی مقدار بیشینه خود را دارد که شاخص حاصلخیزی خاک و شاخص مطلوبیت انجام کار در بالاترین کیفیت قرار داشته باشند. با انجام این کار برآیند دو متغیر کیفی در قالب یک متغیر کمی شده ظاهر می‌شود که به عنوان متغیر کمی وارد مدل پیش بینی می‌شود.

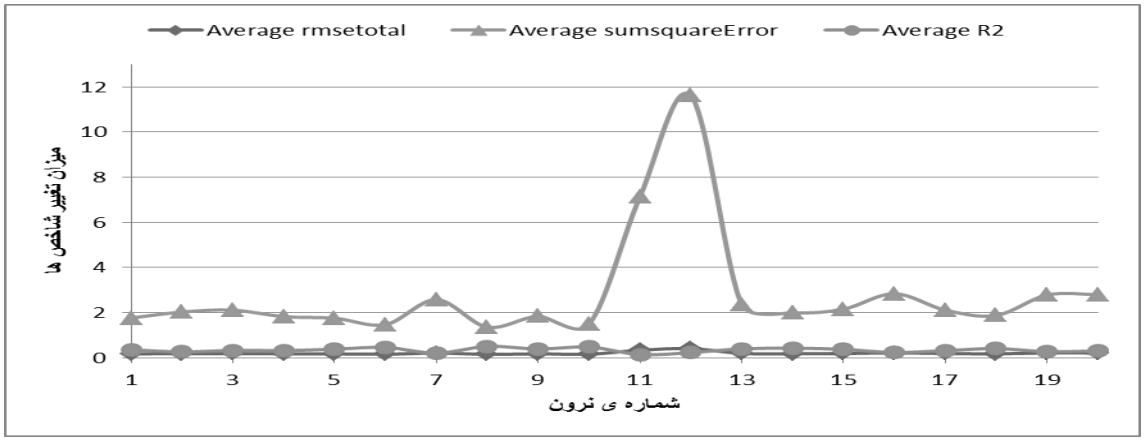
۳-۳- ارزیابی عملکرد مدل عصبی و فازی

پس از اینکه متغیرهای کیفی به وسیله سیستم استنتاج فازی در قالب یک متغیر کمی درآمدند، همراه متغیرهای کمی ثبت شده در پرسش‌نامه ماتریس ورودی شبکه عصبی را تشکیل دادند. شبکه مورد استفاده، یک شبکه دو لایه‌ای پیش‌خور با تابع انتقال سیگموئدی در نرون‌های لایه پنهان و تابع انتقال خطی در نرون‌های لایه‌ی خروجی بود. برای یافتن بهترین شبکه یعنی شبکه-ای که خروجی آن بیشترین تطابق با داده‌های هدف را دارد رویه‌ی زیر طی شد:

به دلیل اینکه خروجی شبکه پس از هر بار طی شدن روال آموزشی حتی برای تعداد یکسانی از نرون‌ها در لایه‌ی مخفی مقدار متفاوتی دارد، ابتدا تعداد نرون لایه‌ی مخفی را برابر یک قرار داده و شبکه را آموزش می‌دهیم و مقدار به دست آمده برای شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجموع مربعات خطا (SSE)و ضریب تبیین (R^2) را یاداشت می‌کنیم. برای هر نرون ۵ بار این کار را انجام داده و مقادیر میانگین این شاخص‌ها برای ۵ تکرار را به دست می‌آوریم. سپس

تعداد نرون لایه پنهان را یک واحد افزایش داده و این کار را تکرار می‌کنیم و تا ۱۰ نرون برای لایه مخفی پیش می‌رویم. تابع کارایی استفاده شده در این مطالعه تابع ریشه‌ی میانگین مربعات خطا می‌باشد. به دلیل اینکه وزن‌ها و بایاس‌ها در شبکه در جهت کاهش مقدار تابع کارایی حرکت می‌کنند، نرونی که به ازای آن میانگین ۵ تکرار برای شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) ومجموع مربعات خطا (SSE)،مقدار کمینه و برای شاخص ضریب تبیین (R^2) مقدار بیشینه را داشته باشد، نرون انتخابی است.

برای آموزش شبکه الگوریتم‌های لونبرگ مارکوارت و گرادیان توام مقیاس شده مورد استفاده قرار گرفتند. شکل ۴ مقادیر شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجموع مربعات خطا (SSE) و ضریب تبیین (R^2) را در مقابل تعداد نرون برای تابع آموزش الگوریتم گرادیان توام مقیاس شده نشان می‌دهد.



شکل ۴ مقادیر شاخص‌های آماری در مقابل تعداد نرون برای تابع آموزش

مشاهده می‌شود که مقادیر میانگین پارامترهای SSE و RMSE کمینه و شاخص R^2 بیشینه مقدار خود را به ازای نرون شماره ۸ دارند. اما برای اینکه مشخص شود کدام یک از ۵ تکرار بهترین شبکه بوده است از جدول ۴ استفاده می‌کنیم که مقادیر شاخص‌های SSE و RMSE و R^2 را برای تکرارهای مختلف نرون شماره ۸ نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقادیر آماری برای تکرارهای مختلف نرون شماره ۸

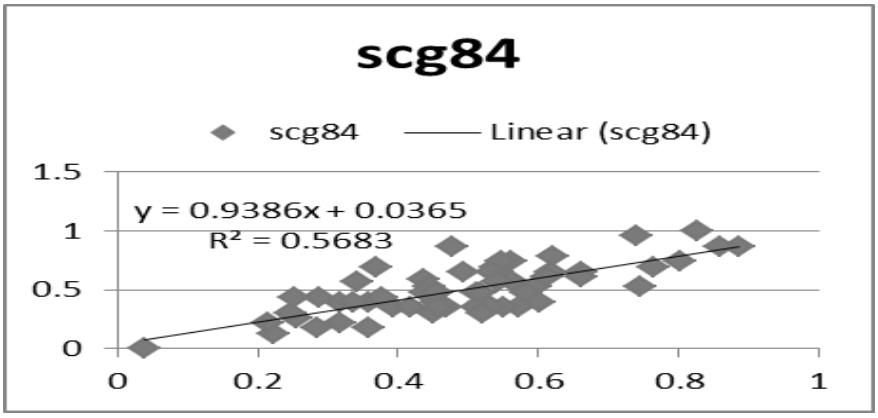
شبکه	RMSE	SSE	R^2
۸۱	۰/۱۴۴۹	۱/۲۶۰	۰/۵۳۱۳
۸۲	۰/۱۴۱۵	۱/۲۰۱	۰/۵۴۳۴
۸۳	۰/۱۵۲۹	۱/۴۰۳	۰/۴۶۶۲
۸۴	۰/۱۳۷۸	۱/۱۴۰	۰/۵۶۸۲
۸۵	۰/۱۷۱۰	۱/۷۵۵	۰/۴۰۳۰
متوسط	۰/۱۴۹۶	۱/۳۵۲	۰/۵۰۲۴

بیشترین	۰/۱۷۱۰	۱/۷۵۵	۰/۵۶۸۲
کمترین	۰/۱۳۷۸	۱/۱۴۰	۰/۴۰۳۰

مشاهده می‌شود که تکرار چهارم کمینه مقدار RMSE و SSE و بیشینه مقدار R^2 را دارد. بنابراین برای الگوریتم گرادیان توام مقیاس شده این شبکه بهترین شبکه‌ی انتخابی می‌باشد.

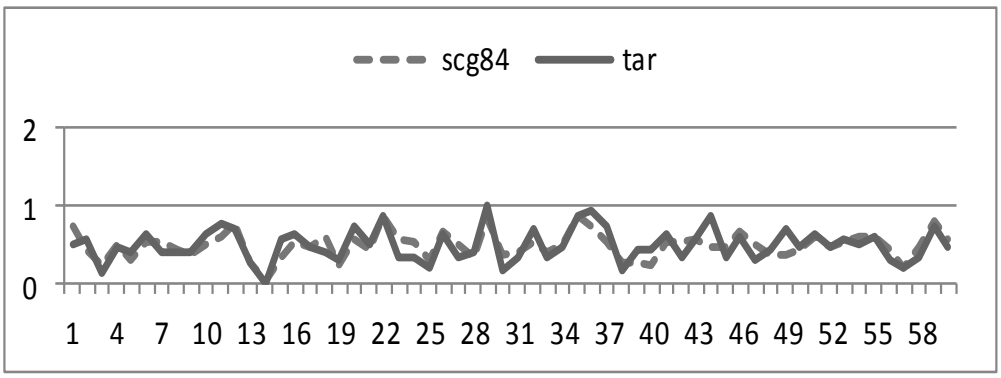
۳-۴- ارزیابی نتایج پیش‌بینی مدل شبکه عصبی

نمودار شکل ۵ مقادیر خروجی شبکه عصبی(مقدار پیش‌بینی شده) در مقابل مقادیر حقیقی(مقدار موجود) را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که نمودار دارای مقداری پراکندگی است به عبارت دیگر شبکه نتوانسته به صورت دقیق مقدار موجود را پیش‌بینی کند و ضریب تبیین خط برازش شده برابر ۰/۵۷ می‌باشد.در واقع پیش‌بینی مقدار خروجی یک پدیده‌ای که دارای ۹ پارامتر ورودی است در عمل کار بسیار دشواری است و شاید بتوان گفت که شبکه عصبی جزو معدود روش‌هایی است که قادر به این کار است . البته اگر تعداد نمونه‌ها یا همان تعداد مزارع مورد مطالعه بیشتر بود(به جای ۶۰ نمونه ۶۰۰ نمونه مطالعه می‌شد) و داده‌های حاصل از آنها برای آموزش شبکه عصبی استفاده می‌شد، فرایند یادگیری بهتر انجام می شد و مقدار پیش‌بینی شده به مقدار موجود نزدیک‌تر می‌شد.



شکل ۵ مقادیر خروجی شبکه عصبی(مقدار پیش‌بینی شده) در مقابل مقادیر حقیقی(مقدار موجود)

نمودار شکل ۶ مقادیر واقعی و مقادیر خروجی شبکه‌ی عصبی را به صورت پیوسته نمایش می‌دهد.نموداری که با خط‌چین رسم شده است مربوط به پیش‌بینی شبکه است. مشاهده می‌شود که شبکه روند نمودار را به خوبی تعقیب می‌کند و فقط در بعضی مناطق خروجی شبکه با روند واقعی سازگار نیست . مشاهده می‌شود با وجود اینکه نمودار حاصل از شبکه عصبی روند داده‌های واقعی را به خوبی دنبال می‌کند ولی به صورت کامل این دو نمودار بر هم منطبق نیستند و به همین دلیل ضریب تبیین قدری کم شده است.



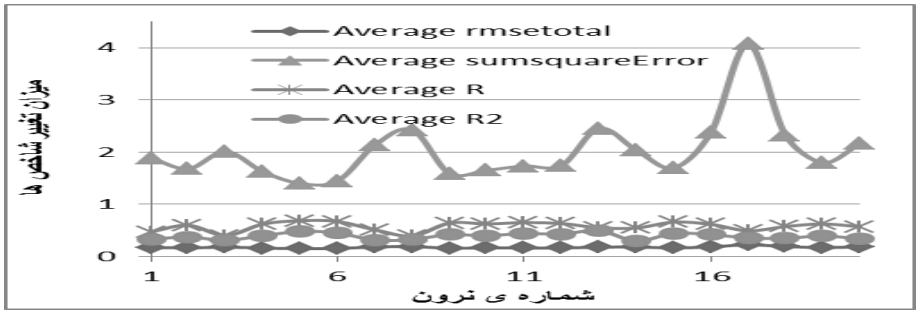
شکل ۶ مقادیر واقعی و مقادیر خروجی شبکه‌ی عصبی

جدول ۵ مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله شبکه عصبی در مقابل مقادیر واقعی موجود را برای الگوریتم گرادیان توام ارائه می-دهد.

جدول ۵ مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله شبکه عصبی در مقابل مقادیر واقعی موجود برای الگوریتم گرادیان توام

شماره‌ی مزرعه	مقدار پیش‌بینی شده	مقدار حقیقی	شماره‌ی مزرعه	مقدار پیش‌بینی شده	مقدار حقیقی
۱	۰/۷۴۷۵	۰/۵۲۱۷	۸	۰/۴۵۵۱	۰/۳۹۱۹
۲	۰/۴۳۷۱	۰/۵۸۶۹	۹	۰/۳۵۸۳	۰/۳۹۱۳
۳	۰/۲۲۳۸	۰/۱۳۰۴	۱۰	۰/۴۹۵۰	۰/۶۵۲۱
۴	۰/۵۱۲۰	۰/۴۷۸۲	۱۱	۰/۶۲۰۷	۰/۷۸۲۶
۵	۰/۳۱۷۴	۰/۳۳۱۳	۱۲	۰/۷۶۴۰	۰/۶۹۵۹
۶	۰/۵۴۳۸	۰/۶۲۲۱	۱۳	۰/۲۵۶۷	۰/۲۶۰۸
۷	۰/۵۲۲۹	۰/۴۸۱۳	۱۴	۰/۰۳۹۳	۰

برای الگوریتم لونبرگ مارکوارت از روی نمودار شکل ۷ مشاهده می‌شود که بهترین نتایج برای شبکه‌ای با ۵ نرون در لایه‌ی مخفی به دست آمده است. زیرا مقادیر میانگین RMSE و SSE برای این نرون کمینه حالت خود و مقدار میانگین R^2 بیشینه‌ی حالت خود را دارد.



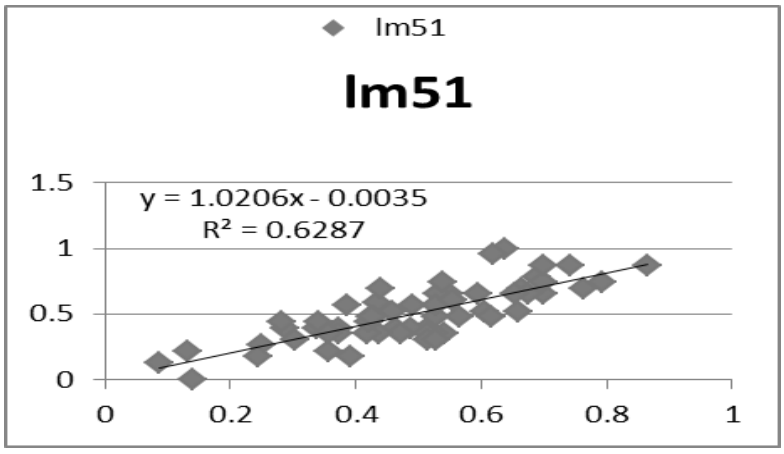
شکل ۷ نمودار الگوریتم لونبرگ مارکوارت

از روی جدول ۶ می‌توان دریافت که تکرار اول از فرآیند آموزشی با این تعداد نرون، بهترین نتایج را در بر دارد. بنابراین این شبکه، شبکه منتخب برای الگوریتم لونبرگ مارکوارت است.

جدول ۶- مقادیر آماری برای تکرارهای مختلف نرون شماره ۸

شبکه	RMSE	SSE	R^2
۵۲	۰/۱۳۷۵۸۱	۱/۱۳۵	۰/۵۷۰
۵۳	۰/۱۵۱۵۰٤	۱/۳۷۷	۰/٤۸۱
۵٤	۰/۱۵۲۲۹	۱/۳۹۱	۰/٤۷۰
۵۵	۰/۱۸۸۰۹	۲/۱۲۲	۰/۲۵٦
متوسط	۰/۱۵۱٤۱۱	۱/٤۰۰	۰/٤۸۱
بیشترین	۰/۱۸۸۰۹	۲/۱۲۲	۰/٦۲۸
کمترین	۰/۱۲۷۵۸۸	۰/۹۷٦	۰/۲۵٦

نمودار شکل ۸ مقادیر خروجی شبکه‌ی عصبی منتخب آموزش دیده توسط الگوریتم لونبرگ مارکوارت را در مقابل داده-های موجود حقیقی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که از پراکندگی داده‌ها اندکی کمتر شده و مقدار پیش‌بینی شده اندکی به مقدار موجود نزدیک‌تر شده است و ضریب تبیین R^2 به ۰/۶۳ارتقاء پیدا کرده است.



شکل۸ مقادیر خروجی شبکه‌ی عصبی منتخب آموزش دیده توسط الگوریتم لونبرگ مارکوارت

۴- نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ی حاضر با به کارگیری منطق فازی شاخص‌های کیفی تاثیرگزار در عملکرد محصول سیب‌زمینی به شاخص کمی تبدیل شد و سپس با بکارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی به طراحی و نوشتن کدهای مجزا در نرم‌افزار MATLAB که هر یک با الگوریتم‌های متفاوتی آموزش دیده‌اند، با استفاده از داده‌های کیفی و کمی به پیش‌بینی انرژی خروجی (عملکرد محصول) پرداخته شده است. از شاخص‌های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجموع مربعات خطا (SSE) و

ضریب تبیین (R^2) برای بررسی میزان تطابق خروجی شبکه‌ی عصبی و داده‌های واقعی و همچنین مقایسه‌ی بین مدل‌های متفاوت شبکه‌ی عصبی استفاده شده است. یافته‌های این مطالعه نشان داد که شبکه‌ای که نزدیک‌ترین پاسخ به داده‌های واقعی و به عبارتی بهترین پیش‌بینی را ارئه می‌کند، شبکه‌ای الگوریتم لونبرگ مارکوارت است که با مقدار پیش‌بینی شده اندکی نزدیک به مقدار موجود با ضریب تبیین R^2 به مقدار ۰/۶۳ می‌باشد. همچنین این نتیجه حاصل می‌شود که با افزایش تعداد نمونه‌ها، دقت پیش‌بینی نیز افزایش می‌یابد.

منابع و مآخذ

۱- آقایی و پورمیری، ۱۳۸۵. پیش بینی روند قیمت فولاد با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و مقایسه‌ی نتایج آن باروش ARIMA. فصلنامه‌ی اقتصاد مقداری، ۳(۱): ۱۴۲-۱۳۸

۲- بیل، آر و تی. جکسون، ۱۳۸۳. آشنایی با شبکه های عصبی.ترجمه‌ی محمود البرزی. تهران: موسسه‌ی انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.۳۲۲ص

۳- بی‌نام،۱۳۹۱. آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل

۴- زراءنژاد، منصور، علی فقه مجیدی و روح ا... رضایی، (۱۳۸۷). پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل ARIMA. فصلنامه‌ی اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)، ۵(۴): ۱۲۸-۱۰۵

۵- عجب‌شیرچی، ی. ۱۳۸۹. مدیریت مصرف انرژی در کشاورزی. درسنامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۶- قلی‌پور، م.۱۳۹۱. منطق فازی برای دانشجویان مدیریت. چاپ اول. انتشارات آتی نگر. ۱۵۶ص

۷- کارتالوپوس، اس. وی. (۱۳۸۲). منطق فازی و شبکه‌های عصبی. ترجمه‌ی محمود جورابیان و رحمت‌الله هوشمند. اهواز: انتشارات دانشگاه شهید چمران.

۸- منعم م، خرمی ج، حیدریان س،۱۳۸۴. ارزیابی عملکرد شبکه های آبیاری با استفاده از منطق فازی.

۹- منهاج، محمدباقر. (۱۳۸۴). مبانی شبکه‌های عصبی. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.۲۵۴ ص

10- Cochran, W. G. 1977. Sampling Techniques. Third Edition.

11- FAO. Food and Agriculture Organization, 2013. <www.fao.org>.

12- Khoshnevisan B, Rafiee S, Omid M, Mousazadeh H. 2008, Prediction of potato yield based on energy inputs using multi-layer adaptive neuro-fuzzy inference system. Measurement 2013; 47: 521–530.

13- Mat lab Manual, Fuzzy Logic Toolbox and TM User's Guide.

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

15- 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.

16- Pishgar-Komleh SH, Ghahderijani M, Sefeedpari P. 2012, Energy consumption and CO2 emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. Journal of Cleaner Production; 33:183–91.
17- Rahimi-Ajdadi F, Abbaspour-Gilandeh Y. 2011, Artificial Neural Network and stepwise multiple range regression methods for prediction of tractor fuel consumption. Measurement; 44: 2104–2111.
18- Sajikumar, N., and B.S. Thandaveswara.1999. A nonlinear rainfall–runoff model using artificial neural networks, Journal of Hydrology, 216: 32-55.

Energy performance (crop yield) prediction in potato production using artificial neural networks and fuzzy logic approach

Abstract

The purpose of this study is predicting energy output (crop yield) in mechanized potato farms using fuzzy logic and neural network. Data were collected from potato farms of Ardabil city in 2013-2014. Important energy indicators such as energy ratio, energy productivity and net energy gain were calculated and their value obtained 1.13 and 0.3 kg/MJ respectively and 9026 MJ/ha was. In addition to 8 quantitative inputs measuring, 2 cases of qualitative data effective in crop yield (soil fertility and work optimization) also were measured and then these 2 qualitative converted to one quantitative index using fuzzy logic and applied into the model. In order to evaluating the model statistical parameters such as root mean square error (RMSE), sum of squared errors (SSE) and coefficient of determination (R2) were used. The results of evaluation of the model indicated that the model has the ability of predicting the energy (crop yield potatoes) with high precision and by increasing the number of samples the prediction accuracy increases.

Keywords: Energy, Fuzzy Logic, Neural Network, Potato, Prediction