

برآورد متغیرها و بررسی اهمیت عوامل مؤثر در فرایند خشک شدن بستر ثابت شلتوک به کمک

شبکه‌های عصبی مصنوعی

رضا امیری چایجان^{*}، محمدهادی خوش تقاضا^۱ و جعفر امیری پریان^۱

تاریخ پذیرش: 87/6/10

1- گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

2- گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

[E-mail: amirireza@yahoo.com](mailto:amirireza@yahoo.com)

*مسئول مکاتبه

چکیده

در این پژوهش، به منظور برآورد همزمان چهار متغیر وابسته آهنگ خروج محصول، آهنگ تبخیر، میزان انرژی مصرفی و ضریب تبدیل شلتوک به برنج سفید در خشک‌کردن بستر ثابت از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد. هفت پارامتر مؤثر در عملکرد خشک‌کن‌های بستر ثابت به عنوان متغیرهای مستقل برای شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شد. این متغیرها عبارتند از رطوبت نسبی هوای محیط، دمای هوای محیط، سرعت هوای ورودی، عمق بستر شلتوک، دمای هوای ورودی، رطوبت اولیه و رطوبت نهایی. تعداد ۳۵۸ آزمایش برای ایجاد الگوهای آموزش و ارزیابی به وسیله یک خشک‌کن آزمایشگاهی انجام شد. برای به دست آوردن متغیرهای آهنگ خروج محصول، آهنگ تبخیر و میزان انرژی مصرفی، از روابط فیزیکی و ترمودینامیکی استفاده شد. برای انجام آزمایش‌ها از دستگاه‌های آزمایشگاهی مختلف و برای آموزش شبکه‌ها و توپولوژی‌های مختلف از الگوهای به دست آمده استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بهترین نتایج برای شبکه پس‌انتشار پیشرو با توپولوژی ۴-۹-۱۲-۷ و الگوریتم آموزش لونیبرگ-مارکوارت و تابع آستانه لگاریتم سیگموئید حاصل می‌شود. با توپولوژی مذکور، مقدار خطای مربعات میانگین، ۰/۰۰۰۶۱ بود. مقادیر ضریب تبیین برای پیش‌بینی چهار متغیر خروجی ضریب تبدیل شلتوک، مصرف ویژه انرژی، آهنگ تبخیر و آهنگ خروج محصول، به ترتیب ۰/۹۲۶۰، ۰/۹۱۴۵، ۰/۹۰۴۵ و ۰/۸۹۸۵ به دست آمد. سپس به منظور بررسی ترتیب اهمیت هر یک از متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته، از روش حذف متناوب متغیرهای ورودی در شبکه‌های بهینه طراحی شده استفاده شد. نتایج نشان داد که دمای هوای ورودی، بیشترین تأثیر را بر متغیرهای خروجی دارد، درحالی‌که عوامل هوای محیط (رطوبت نسبی و دمای هوای محیط) کمترین تأثیر را بر متغیرهای مذکور دارند.

واژه‌های کلیدی: انرژی، الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت، شبکه پس‌انتشار، شلتوک، خشک‌کن

Variables Estimation and Important Order Determination of Effective Factors in Fixed Bed Drying of Rough Rice by Using Artificial Neural Networks

R Amiri Chayjan^{1*}, MH Khoshtahaza² and J Amiri Parian¹

¹Department of Agricultural Machinery Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

²Department of Agricultural Machinery Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

*Corresponding author: E-mail:amirireza@yahoo.com

Abstract

In this research, Artificial Neural Networks (ANNs) used for estimation of four dependent variables of Product Output Rate (POR), Specific Consumption of Energy (SCE), Head Rice Yield (HRY) and Evaporation Rate (ER) in fixed bed drying process of rough rice. Seven effective parameters on operation of fixed bed dryers selected as independent variables for ANNs. These variables are: air relative humidity, air temperature, inlet air velocity, bed depth, initial moisture content, final moisture content and inlet air temperature. In total, 358 drying experiments were accomplished for creating of training and testing patterns by a laboratory dryer. For obtaining of ER, SCE and POR, physical and thermo-dynamical equations were used after the end of experiments. Different laboratory apparatuses used for carry out of experiments and for training of networks. Results showed that, cascade forward back propagation with topology of 7-12-9-4, levenberg-marquardt algorithm and sigmoid logarithm threshold function has the best performance. With this topology, MSE=0.00061 and R² for Head Rice Yield, Specific Consumption of Energy, Evaporation Rate and Product Output Rate was 0.9260, 0.9145, 0.9045 and 0.8985, respectively. Then in order to obtaining of important order of independent variables on output variables, intermittent omitting method of input variables applied on optimal network. results showed that, input air temperature, has the most effect on output parameters and air parameters (relative humidity and air temperature) have the least effect on the parameters.

Keywords: Back propagation network, Dryer, Energy, Levenberg-marquardt, Rough rice

به کشت برنج اختصاص دارد که متوسط برداشت محصول از آن حدود ۳/۷۳۰ تن در هکتار است (فائو ۲۰۰۷). هر سال حدود یک میلیون تن برنج سفید به کشور وارد می‌شود (بی‌نام ۱۳۸۵). این امر ضرورت

مقدمه

میزان تولید برنج در ایران حدود ۲/۳۵ میلیون تن است که حدود ۰/۴۱ درصد از تولید جهانی این محصول است (فائو ۲۰۰۷). حدود ۶۳۰۰۰۰ هکتار از زمین‌های کشور

معایب خشک‌کن‌های مذکور این است که پس از خشک‌کردن شلتوک، رطوبت لایه‌های مختلف آن متفاوت است و این عدم یکنواختی سبب بروز ضایعات در مرحله تبدیل شلتوک به برنج سفید می‌شود. استفاده از دماهای بالا نیز در این خشک‌کن‌ها بدلیل اینکه ایجاد اختلاف رطوبتی زیاد لایه‌ها و بیش‌خشک‌شدن لایه‌های زیرین عملاً امکان‌پذیر نیست. به دلیل اینکه امکان جابجایی لایه‌های شلتوک در حین خشک‌کردن بستر ثابت وجود ندارد، پذیرش ضایعات کیفی و کمی در استفاده از این خشک‌کن‌ها گریزناپذیر است همچنین استفاده از عمق‌های زیاد نیز باعث تشدید ضایعات می‌شود (هاشمی سلیمانی ۱۳۷۶).

یک فرایند حرارتی، سیستمی پیچیده است که معمولاً چندین پارامتر کیفی و شاخصه‌های کمی برای محصولات کشاورزی به طور همزمان در آن لحاظ می‌شود. در فرایند خشک‌کردن شلتوک، عواملی مانند دمای هوای ورودی، رطوبت نهایی شلتوک، رطوبت اولیه شلتوک، دبی هوای ورودی، رطوبت نسبی و دمای هوای محیط و عمق شلتوک بر روی ایجاد ضایعات برنج، سینتیک خشک‌شدن و میزان مصرف انرژی مؤثرند. توسعه یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته این مسأله در ارتباط با همه متغیرهای مستقل بسیار مشکل است. اگر چه برخی روش‌ها برای پیش‌بینی شاخص‌های کیفی، سینتیک و مصرف انرژی توسعه یافته است ولی دارای دقت مناسبی نیستند (بونازی و همکاران ۱۹۹۷).

روش متداول برای بررسی شرایط فراوری پارامترهای کیفی محصولات کشاورزی، روش‌های آماری است. مدل‌های آماری یا معادلات رگرسیونی تابعی از فرضیات و ملاحظات ذاتی آزمایش‌ها در تحلیل است. در این روش واقعیت پدیده به کمک یک معادله جبری بیان می‌شود که فرضیات اصلی مسأله در آن لحاظ شده است. از آنجا که برای پیش‌بینی شاخص‌های کیفی محصولات کشاورزی چندین متغیر ورودی و خروجی

بهینه‌سازی سیستم‌های فراوری و تولید برنج را به منظور کاهش ضایعات و افزایش تولید نشان می‌دهد. لازمه دستیابی به این هدف، در نظر داشتن دو راهبرد است. راهبرد اول، افزایش بهره‌وری سیستم‌های موجود و قدیمی است که در سطح وسیعی از نقاط کشور در حال کار هستند و راهبرد دوم، ارائه و اجرای برنامه میان‌مدت و بلندمدت در راستای بکارگیری روشها و سیستم‌های نوین در زمینه تکنولوژی پس از برداشت برای فراوری و تولید برنج است. این برنامه‌ها در اهداف توسعه اکثر کشورهای برنج‌خیز دنیا مشاهده می‌شود. بطوریکه انجام این اصلاحات در فرایند تولید برنج، افزایش قابل توجه برنج سفید سالم را در دهه‌های اخیر در دنیا در پی داشته است (یوسفیان ۱۳۷۶).

شلتوک در محدوده رطوبتی ۱۶ تا ۲۸ درصد (پایه تر) برداشت می‌شود که بستگی به روش برداشت، رقم و موقعیت مکانی آن دارد. در شرایط کلی، در رطوبت برداشت بالاتر، عملکرد تبدیل شلتوک به برنج سفید افزایش می‌یابد. در حالی که در میزان رطوبت پایین‌تر، انرژی لازم برای خشک‌کردن کاهش می‌یابد. هدف فرایند خشک‌کردن شلتوک، بیشینه‌کردن عملکرد تبدیل شلتوک به برنج سفید سالم با بیشترین ظرفیت خشک‌کردن و کمترین میزان ضایعات محصول و مصرف انرژی می‌باشد. (بروکر و همکاران ۱۹۹۲).

در ایران، شلتوک برداشت شده، پس از کاهش قابل توجه میزان رطوبت در مزرعه (روش برداشت سنتی) یا بلافاصله پس از برداشت (روش برداشت مکانیزه) برای انجام عملیات تبدیل به کارخانه شالیکوبی منتقل می‌شود. محققان توصیه می‌کنند که برای ذخیره‌سازی، رطوبت شلتوک می‌بایست حدود ۱۳ درصد (پایه تر) باشد و برای انجام عملیات تبدیل نیز بهتر است رطوبت شلتوک (بسته به نوع رقم شلتوک) بین ۱۰ تا ۱۲ درصد (پایه تر) باشد (تتر ۱۹۸۷).

خشک‌کن‌های بستر ثابت در مقیاس گسترده‌ای در ایران برای خشک‌کردن شلتوک استفاده می‌شود. از

شلتوک، بانیاوانی‌چاکول و همکاران (۲۰۰۷) مدل‌سازی ریاضی خشک‌شدن شلتوک در یک خشک‌کن بادی، زارع و همکاران (۲۰۰۶) مدل‌سازی رایانه‌ای خشک‌شدن شلتوک در یک خشک‌کن بستر ثابت آزمایشگاهی.

محققین بسیاری نیز از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای دستیابی به اهداف مورد نظر در زمینه‌های کشاورزی استفاده کرده‌اند که برخی از آن‌ها عبارتند از: فارکاس و همکاران (۲۰۰۰) برای پیش‌بینی توزیع رطوبت در یک خشک‌کن جو و یافتن بهترین شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی آن، زبیسینسکی و همکاران (۱۹۹۶) برای مدل‌سازی فرایند تبخیر رطوبت در یک خشک‌کن بستر سیال، زبیسینسکی و سیسیلسکی (۲۰۰۰) برای پیش‌بینی ضریب انتقال حرارت مواد مختلف، اسلام و همکاران (۲۰۰۳) برای پیش‌بینی نرخ خشک‌کردن قطعات سیب زمینی، زانگ و همکاران (۲۰۰۲) برای پیش‌بینی شاخصه‌های خشک‌کردن شلتوک از پارامترهای موثر در خشک‌کردن به روش بستر ثابت، کوبیلوس و ریز (۲۰۰۳) برای پیش‌بینی میزان رطوبت خروجی در فرایند خشک‌کردن هویج، زی و زیونگ (۱۹۹۹) برای پیش‌بینی خواص مکانیکی نخود پس از پختن آن، ارتنورک و همکاران (۲۰۰۴) برای مدل‌سازی دینامیکی خشک‌کردن لایه نازک گیاه اگناسه آنگوستیفولیا (یک گیاهی دارویی)، ارتنورک و ارتنورک (۲۰۰۷) در فرایند خشک‌کردن لایه نازک هویج، مارتینکو و یانگ (۲۰۰۶) برای تعیین آهنگ خشک‌کردن ریشه درخت جنسه و پونوی و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) برای پیش‌بینی نسبت رطوبتی قارچ و پیش‌بینی دما و رطوبت ورقه‌های نازک گوجه‌فرنگی در یک خشک‌کن میکروویو خلأی.

با توجه به ضرورت‌های بیان شده، هدف این تحقیق

عبارت است از:

مؤثرند، تحلیل آماری این نوع مسائل مستلزم ارائه تعدادی روابط ریاضی است که اغلب برای استفاده و تفسیر مشکل است.

امروزه با توسعه سریع فناوری‌های پردازش رایانه‌ای و ایجاد نرم‌افزارهای مربوطه، از مزایای فناوری هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی برای حل مسائل مربوط به مدل‌سازی سیستم‌ها و فرایندها استفاده می‌شود. یک شبکه عصبی مصنوعی، مجموعه‌ای از عناصر محاسباتی متصل به همدیگر است که شبیه نرونهاي زیستی است. این مجموعه قادر است بدون هیچ دانش قبلی ارتباط ذاتی موجود میان داده‌های مسأله را کشف و در خود حفظ کند (فارکاس و همکاران ۲۰۰۰).

یک شبکه عصبی آموزش‌دیده می‌تواند به عنوان مدلی برای کاربردهای خاص به کار رود. پیش‌بینی با یک شبکه عصبی آموزش‌دیده به‌طور معمول سریعتر از عملکرد برنامه‌های مدل‌سازی متداول است. بعلاوه امکان کاهش یا افزایش متغیرهای ورودی و خروجی در صورت نیاز وجود دارد. تفاوت دیگر شبکه عصبی مصنوعی با روش‌های متداول مدل‌سازی این است که شبکه عصبی را می‌توان برای پیش‌بینی بیش از دو متغیر در خروجی شبکه استفاده کرد (هریستوف ۱۹۹۸).

پژوهشگران بسیاری از روشهای آزمایشی، آماری و ریاضی برای تحلیل، پیش‌بینی و مدل‌سازی متغیرهای خشک‌کن بستر ثابت اقدام کردند که برخی از آنها عبارتند از: رفیعی (۱۳۷۶) بررسی آماری توزیع رطوبت در خشک‌کنهای بستر ثابت متداول، جیندال و زینمورگن (۱۹۹۴) بررسی آهنگ خشک‌شدن شلتوک، پیوتی و همکاران (۱۹۹۴) بررسی تأثیر عوامل مختلف بر ضریب تبدیل شلتوک، چن و همکاران (۱۹۹۷) بررسی نقش عوامل مختلف بر ضریب ثابت خشک‌شدن شلتوک در معادله پیچ، جیا و همکاران (۲۰۰۲) مدل‌سازی ریاضی انتقال حرارت و جرم در فرایند خشک‌شدن بستر ثابت

$$SCE = \left[\frac{Q(C_{Pa} + C_{Pv}h_a)(T_{in} - T_a)}{V_h} \right] \left(\frac{t}{m_v} \right) \quad (3)$$

$$HRY = \frac{HR}{RW} \times 100 \quad (4)$$

در این روابط، POR آهنگ خروج محصول^۱ A_b ، $(kg/m^2 \cdot s)$ ، m_d جرم محصول خشک شده (kg) ، ER سطح مقطع خشک کن (m^2) ، t زمان خشک شدن (s) ، آهنگ تبخیر^۲ m_v ، $(kg/m^2 \cdot s)$ ، جرم رطوبت تبخیر شده (kg) ، SCE مصرف ویژه انرژی^۳ (J/kg_v) ، Q دبی هوای ورودی به محفظه (m^3/s) ، C_{Pa} و C_{Pv} به ترتیب ظرفیت گرمای ویژه هوا و بخار $(J/kg^\circ C)$ ، h_a رطوبت مطلق هوا (هوا خشک kg /بخار kg)، T_{in} دمای هوای ورودی به محفظه $(^\circ C)$ ، T_a دمای هوای محیط $(^\circ C)$ و V_h حجم ویژه هوا (m^3/kg) است. مقادیر گرمای ویژه هوا و بخار بترتیب برابر با $1004/16$ و $(J/kg^\circ C)$ و $1828/8$ است، HRY ضریب تبدیل شلتوک (درصد).

HR وزن برنج سفید سالم (g) و RW وزن شلتوک اولیه (g) است.

بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که عوامل متعددی در عملکرد خشک شدن شلتوک و متغیرهای خروجی نقش تعیین کننده‌ای دارند. مهمترین این عوامل عبارت است از: عمق بستر شلتوک (d_b) ، دمای هوای محیط (T_a) ، رطوبت نسبی هوای محیط (RH_a) ، دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن (T_{in}) ، میزان رطوبت اولیه شلتوک (MC_{in}) ، میزان رطوبت نهایی شلتوک (MC_f) ، سرعت هوای ورودی (V_{in}) (سان و زینمورگن ۱۹۹۳، چن و همکاران ۱۹۹۷، هاشمی سلیمانی ۱۳۷۶،

۱- ایجاد ارتباط بین متغیرهای مستقل مؤثر در فرایند خشک کردن شلتوک به روش بستر ثابت با شاخص‌های کیفی، انرژی، سینتیک خشک کردن و ظرفیت خشک کن در شرایط بستر ثابت آزمایشگاهی به عنوان روش خشک کردن متداول. به عبارت دیگر، امکان‌سنجی ایجاد ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی مذکور به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی در قالب یک شبکه عصبی واحد.

۲- یافتن شبکه عصبی با توپولوژی مناسب به منظور پیش‌بینی متغیرهای مستقل در خشک کردن شلتوک و

۳- سرانجام بررسی ترتیب اهمیت هر یک از متغیرهای ورودی بر متغیرهای خروجی.

مواد و روش‌ها

انتخاب پارامترهای ورودی و خروجی

برای ارزیابی خشک‌کن‌ها، چهار متغیر ظرفیت کاری خشک‌کن از نظر میزان محصول خشک شده، کیفیت سینتیک خشک شدن، میزان انرژی مصرفی و شاخص کیفی مورد بررسی قرار گرفت. پس از اتمام هر آزمایش خشک کردن شلتوک و مشخص شدن زمان خشک شدن و میزان رطوبت نهایی برای هر الگوی آموزشی، متغیرهای در نظر گرفته شده عبارت بودند از: آهنگ خروج محصول به عنوان معیار ظرفیت خشک کن، آهنگ تبخیر به عنوان کیفیت سینتیک خشک شدن، مصرف ویژه انرژی به عنوان شاخص انرژی و ضریب تبدیل شلتوک به عنوان شاخص کیفی.

متغیرهای خروجی مذکور به کمک روابط زیر محاسبه می‌شود (مک کیب و همکاران ۱۹۸۸، پراساد و همکاران ۱۹۹۴ و چن و همکاران ۱۹۹۷):

$$POR = \frac{m_d}{A_b \times t} \quad (1)$$

$$ER = \frac{m_v}{A_b \times t} \quad (2)$$

^۱Evaporation Rate

^۲Specific Consumption of Energy

^۳Head Rice Yield

صفحه توزیع کننده آن نیز دارای سوراخهایی به قطر ۳ mm و ضخامت ۱ mm است.

روش و دستگاههای آماده سازی نمونه‌ها

شلتوک پس از برداشت به وسیله کمباین برنج، در کیسه‌های پلاستیکی بزرگ نگهداری شد. برای جلوگیری از کاهش رطوبت شلتوک، درب پلاستیک، محکم بسته شد و در دمای 4°C در سردخانه نگهداری شد. قبل از انجام آزمایش‌های خشک کردن، نمونه‌های شلتوک از یخچال خارج شده و به مدت حدود ۱۲ ساعت در دمای اتاق (حدود 20°C) به تعادل دمایی می‌رسید. برای تعیین رطوبت شلتوک از نمونه‌های ۱۰ گرمی استفاده شد که به مدت ۲۴ ساعت و دمای 130°C در اجاق آزمایشگاهی قرار داده شد (چن و همکاران ۱۹۹۷). برای توزین نمونه‌ها از یک ترازوی دیجیتالی AND GF-600 ساخت کشور ژاپن با دقت 0.01 g و قدرت تشخیص 0.01 g استفاده شد. برای به دست آوردن رطوبت، از اجاق آزمایشگاهی Memmert D06836 ساخت کشور آلمان استفاده شد، که دقت آن $\pm 1^{\circ}\text{C}$ است.

از یک دستگاه پوست کن شلتوک مشابه سازی شده از مدل ST50 شرکت یانمار ژاپن، برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. دستگاه مذکور دارای دو غلتک لاستیکی دوار است (پیمان و همکاران ۱۳۷۹). برای سفید کردن نمونه‌های آزمایشی به منظور محاسبه ضریب تبدیل، از یک سفیدکن آزمایشگاهی ساخت شرکت KETT ژاپن مدل PEARLEST استفاده شد. پس از خارج کردن نمونه‌های سفید شده، برنج سفید سالم و شکسته به روش دستی جدا شده و وزن آن ثبت می‌شود.

برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی هوای اتاق خشک‌کن از یک رطوبت‌سنج Lutron HT-3005 ساخت کشور تایوان استفاده شد. برای اندازه‌گیری دمای محیط از یک

کیانمهر (۱۳۸۰). در ادامه بحث آموزش یک شبکه عصبی مصنوعی، انتخاب تعداد و نوع پارامترهای ورودی و خروجی شبکه‌های عصبی مصنوعی در قالب چهار مدل زیر بیان می‌شود:

$$POR(t) = f[d_b(t), T_a(t), RH_a(t), T_{in}(t), MC_{in}(t), MC_f(t), V_{in}(t)] \quad (5)$$

$$ER(t) = f[d_b(t), T_a(t), RH_a(t), T_{in}(t), MC_{in}(t), MC_f(t), V_{in}(t)] \quad (6)$$

$$SCE(t) = f[d_b(t), T_a(t), RH_a(t), T_{in}(t), MC_{in}(t), MC_f(t), V_{in}(t)] \quad (7)$$

$$HRY(t) = f[d_b(t), T_a(t), RH_a(t), T_{in}(t), MC_{in}(t), MC_f(t), V_{in}(t)] \quad (8)$$

در این رابطه، t بیانگر الگوهای مستقل برای انجام محاسبات است.

خشک کن آزمایشگاهی

برای انجام آزمایش‌های بستر ثابت و سیال از خشک‌کن بستر سیال آزمایشگاهی که توسط صادقی و همکاران (۱۳۸۳) ساخته شده است، استفاده شد (شکل ۱). این خشک‌کن مجهز به دمنده‌ای سانتریفوژی با پره‌های عقبگرد و موتور متحرک سه‌فاز، قدرت ۲ hp و دور ۲۸۰۰ rpm است. یک کوره حرارتی هوای گرم را تامین می‌کند. محفظه خشک‌کن دارای سطح مقطع m^2 0.16×0.16 بوده و از جنس پلکسی‌گلاس شفاف است. این سیستم از چهار قسمت منبع تغذیه، مدار اصلی کنترل، مدار تقویت کننده حسگرها و مدار راه‌انداز رله تشکیل شده است. تغییر دور موتور سه‌فاز دمنده از طریق یک دستگاه تنظیم سرعت Topvert مدل 7300 L202 صورت می‌گیرد. حسگرهای دما و رطوبت نسبی، عملیات اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی هوای ورودی و خروجی و همچنین دمای بستر ذرات را انجام می‌دهد. سیستم کنترل به طور مستقیم به رایانه متصل است.

نرون دارد و شامل نرون‌های $N(3, 1)$ ، $N(3, 2)$ ،، $N(3, p)$ است.

نرون‌های لایه اول، هفت سیگنال ورودی را به شکل بردار $X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_7]^T$ دریافت می‌کنند که برابر است با: $x_1 = T_{in}$ ، $x_2 = V_{in}$ ، $x_3 = d_b$ ، $x_4 = MC_{in}$ ، $x_5 = T_a$ ، $x_6 = MC_{f}$ و $x_7 = RH_a$. خروجی نرون‌های لایه ورودی به شکل $Z = [z_1 \ z_2 \ \dots \ z_7]^T$ است که به لایه پنهان دوم ارسال می‌شود. در نهایت خروجی شبکه به صورت بردار $Y = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_4]^T$ خواهد بود که: $y_1 = HRY$ ، $y_2 = POR$ ، $y_3 = ER$ و $y_4 = SCE$. وزن‌های متناظر با نرون $N(1, i)$ در لایه اول ($i=1, 2, \dots, 7$)، $(w_{i1}^{(1)}, w_{i2}^{(1)}, \dots, w_{i7}^{(1)})$ ، وزن‌های متناظر با نرون $N(2, j)$ در لایه دوم ($j=1, 2, \dots, m$)، $(w_{j1}^{(2)}, w_{j2}^{(2)}, \dots, w_{jm}^{(2)})$ و وزن‌های متناظر با نرون $N(3, k)$ در لایه سوم ($k=1, 2, \dots, p$)، $(w_{k1}^{(3)}, w_{k2}^{(3)}, \dots, w_{kp}^{(3)})$ است.

به منظور بررسی و ارزیابی شبکه‌های مختلف، پایگاه داده‌ای به سه قسمت تقسیم شد: آموزش^۱، ارزیابی^۲ و اعتبارسنجی^۳. برای پیدا کردن بهترین پیش‌بینی‌ها، شبکه‌های مختلفی بر داده‌های مذکور اعمال شدند. شایان ذکر است که الگوهای ارزیابی برای بررسی عملکرد تعمیم شبکه‌های بکاررفته استفاده می‌شود (دی موت و بیل ۲۰۰۳). برای ارزیابی قابلیت تعمیم مدل‌های شبکه عصبی، ایجاد مجموعه یا مجموعه‌های دیگر داده‌ها برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی آموزش‌دیده بسیار مهم است. برای این منظور حدود ۱۵ درصد معادل الگوهای آموزش که ۴۵

دماسنج دیجیتالی Lutron TM-915 ساخت کشور تایوان استفاده شد.

به منظور اندازه‌گیری افت فشار ناشی از ستون بستر مواد در داخل محفظه خشک‌کن از یک فشارسنج دیجیتالی Testo 505-P1 ساخت کشور آلمان استفاده شد. برای اندازه‌گیری دبی هوای خروجی از محفظه خشک‌کن، از یک سرعت‌سنج پره‌ای Lutron A-M-4202 ساخت کشور تایوان استفاده شد.

روش انتخاب سرعت‌های هوای اعمال‌شده به بستر شلتوک

آزمایش‌های سیال‌سازی برای تعیین منحنی مشخصه سیال‌سازی نمونه‌های شلتوک در عمق‌های مختلف، انتخاب نقاط آزمایشی سرعت هوای ورودی به بستر شلتوک و رعایت فاصله مناسب بین این نقاط، انجام شد. برای شرایط بستر ثابت، آزمایش‌ها از سرعت حداقل 0.1 m/s تا نقطه حداقل سیال‌سازی برای هر عمق انجام شد. شکل ۲ منحنی‌های مشخصه سرعت هوا-افت فشار برای عمق‌های ۵، ۱۲/۵ و ۲۰ cm را در شرایط بستر ثابت نشان می‌دهد. نقاط مشخص شده روی منحنی‌های مذکور، نقاط انتخابی برای انجام آزمایش‌های بستر ثابت است. در جدول ۱ نقاط انتخابی سرعت سیال و دور موتور دمنده در شرایط بستر ثابت آورده شده است. نقاط مذکور طوری انتخاب شده‌اند که ضمن رعایت فاصله مناسب بین آنها تمام محدوده بستر ثابت پوشش داده شود.

طراحی روند آموزش برای شبکه‌های عصبی مصنوعی

ساختار عمومی شبکه‌های عصبی چندلایه در شکل ۳ نشان داده شده است. لایه اول هفت نرون دارد که برابر با تعداد ورودی‌ها است و با نماد $N(1, 1)$ ، $N(1, 2)$ ،، $N(1, 7)$ نشان داده می‌شود. لایه دوم m نرون دارد که لایه پنهان اول است و $N(2, 1)$ ، $N(2, 2)$ ،، $N(2, m)$ نامگذاری می‌شود. لایه سوم p

¹Train

²Test

³Evaluation

که در آن، MSE خطای مربعات میانگین در مرحله آموزش، S_{ip} خروجی شبکه در نرون i ام و الگوی p ام، T_{ip} خروجی هدف در نرون i ام و الگوی p ام، n_p تعداد الگوها، n_o تعداد نرون‌های لایه خروجی، N تعداد نرونهای خروجی و M تعداد الگوهای آموزشی است. هدف آن است که میزان این خطا به کمترین مقدار ممکن برسد.

برای ارزیابی یادگیری شبکه‌های عصبی و حصول بهترین نتایج، از چندین معیار استفاده شد. مقادیر آماری برای ارزیابی قابلیت تعمیم عبارتند از ضریب تبیین R^2 ، خطای مطلق میانگین E_{ma} و انحراف معیار خطای مطلق میانگین SD_{ma} ، که به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n [S_k - T_k]^2}{\sum_{k=1}^n [S_k - T_m]^2} \quad (10)$$

$$T_m = \frac{\sum_{k=1}^n S_k}{n}$$

$$E_{ma} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |S_k - T_k| \quad (11)$$

$$SD_{ma} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (|S_k - T_k| - |S_k - T_m|)^2}{n-1}} \quad (12)$$

آزمایش مستقل برای ارزیابی خشک‌کردن بستر ثابت است و حدود ۱۰ درصد الگوهای آموزش که ۳۵ آزمایش مستقل برای اعتبارسنجی خشک‌کردن بستر ثابت است در نظر گرفته شد. از ابزارهای نرم‌افزار MATLAB 7 بنام Neural Networks Toolbox (نسخه ۴/۰۱) برای طراحی و ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی مختلف استفاده شد.

به منظور پردازش داده‌های گوناگون برای کاربردهای مختلف، از شبکه‌های متعدد استفاده شد که عبارتند از (دی موت و بیل ۲۰۰۳، المان ۱۹۹۰):
الف) شبکه‌های پس انتشار پیشخور^۱ (FFBP)،
ب) شبکه‌های پس انتشار پیشرو^۲ (CFBP) و
ج) شبکه عصبی المان^۳ (EN).

بررسی قابلیت تعمیم شبکه عصبی آموزش‌دیده، آخرین مرحله در توسعه مدل شبکه عصبی مصنوعی است. در این مرحله مدل‌های شبکه عصبی آموزش‌دیده به وسیله مجموعه داده‌های ارزیابی که مستقل از داده‌های آموزش است مورد آزمون قرار می‌گیرد. برای یافتن شبکه‌ای با معماری مناسب به کمک الگوریتم‌های آموزشی، از معیار خطای مربعات میانگین^۴ استفاده می‌شود (هریستوف ۱۹۹۸):

$$MSE = \frac{\sum_{p=1}^M \sum_{i=1}^N (S_{ip} - T_{ip})^2}{n_p \times n_o} \quad (9)$$

⁵Coefficient of Determination

⁶Mean Absolute Error

⁷Standard Deviation of Mean Absolute Error

¹Feed Forward Back Propagation

²Cascade Forward Back Propagation

³Elman Network

⁴Mean Square Error

۷-۱۲ برای شبکه CFBP، تابع آستانه LOGSIG و الگوریتم یادگیری LM است، این نتایج در جدول ۳ آورده شده است. بهترین مقدار خطای MSE حاصل برابر با $0/00061$ است. مقادیر R^2 ، E_{ma} و SD_{ma} برای هر چهار متغیر و الگوهای ارزیابی وضعیت مناسبی دارد. اختلاف اندک بین مقادیر ارزیابی و اعتبارسنجی بیانگر یادگیری مناسب شبکه طراحی شده بهینه است.

روند یادگیری شبکه طراحی شده بهینه در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنان که ملاحظه می شود تا دوازدهمین چرخه آموزش، روند یادگیری الگوهای آموزش، ارزیابی و اعتبارسنجی بسیار به هم نزدیک است. ولی پس از آن اندکی واگرایی مشاهده می شود. لیکن بعد از چرخه آموزش ۱۲، مقدار MSE الگوهای آموزش کاهش می یابد و به $0/00061$ می رسد. با این وجود مقادیر معیارها برای الگوهای ارزیابی و اعتبارسنجی مناسب است (جدول ۳).

به منظور بررسی پایداری شبکه مذکور نیز نویزی تصادفی با دامنه ای برابر با ± 10 درصد دامنه الگوهای ورودی به آنها افزوده شد. نتایج نشان داد که شبکه مذکور قابلیت اعتماد بالایی در مواجهه با الگوهای ناشناخته دارد. زیرا مقادیر R^2 ، خطاها و انحراف معیارها تغییرات ناگهانی نداشتند. روند مذکور برای الگوهای اعتبارسنجی نیز مشاهده می شود (جدول ۴).

با توجه به اینکه تحقیق حاضر برای خشک کردن بستر ثابت و دامنه بسیار گسترده ای انجام شده است، خطای مطلق میانگین به دست آمده مناسب است. ژانگ و همکاران (۲۰۰۲) برای پیش بینی شش متغیر وابسته یعنی: انرژی مصرفی، ترک دانه، رطوبت نهایی محصول، آهنگ دفع رطوبت، شدت خشک شدن و آهنگ دفع جرم آب به کمک چهار متغیر مستقل یعنی: ضخامت لایه شلتوک، دبی هوای گرم، دمای هوا و زمان خشک شدن از شبکه های عصبی مصنوعی استفاده کردند. در پژوهش مذکور از یک شبکه چهارلایه برای پیش بینی استفاده شد که به ترتیب ۸ و ۵ نرون در اولین و دومین لایه پنهان

در این رابطه ها، S_k مقدار پیش بینی شده به وسیله شبکه عصبی مصنوعی برای الگوی k ام، T_k مقدار هدف (آزمایشی) برای الگوی k ام، T_m میانگین مقادیر پیش بینی شده و n تعداد الگوهای آموزشی است.

توابع آستانه^۱ مختلفی برای یافتن حالت بهینه شبکه ها مورد ارزیابی قرار گرفت که عبارتند از: تابع سیگموئید لگاریتمی، تابع خطی و تابع تانژانت هایپربولیک سیگموئید.

الگوریتم آموزش بکاررفته برای بهنگام سازی وزنه های شبکه ها، الگوریتم لونبرگ - مارکوورت^۲ (LM) است که بر مبنای ماتریس هسین^۳ است و به شبکه اجازه می دهد تا با دقت بیشتری الگوها را فرا بگیرد. در راستای دستیابی به جواب، فرایند آموزش به سرعت همگرا می شود، زیرا ماتریس هسین در طی حل مسأله از بین نمی رود.

برای هنجار سازی تمامی عناصر موجود در یک الگو، داده های مربوطه به دامنه های [۰ و ۱] و [-۱، ۱] تبدیل شدند.

نتایج و بحث

پیش بینی همزمان چهار متغیر خشک کردن شلتوک به کمک شبکه های عصبی مصنوعی با هفت متغیر مؤثر بر خشک کردن شلتوک در شرایط بستر ثابت انجام شده است. سه شبکه FFBP، CFBP و EN برای به دست آوردن جواب مناسب به کار رفت. کاربرد الگوریتم LM با سه شبکه FFBP، CFBP و EN در شکل ۴ نشان داده شده است. بهترین نتیجه مربوط به توپولوژی ۴-۹-

¹Threshold Function

²Levenberg-Marquardt

³Hessian Matrix

توسط خشک‌کن بستر ثابت در محدوده آهنگ ثابت و نزولی انجام می‌شود، براینده اهمیت متغیرها در دو مرحله ارائه شده است. زیرا رطوبت نهایی عامل محدود کننده در مرحله نزولی خشک‌کردن بوده و به دلیل تأثیر اندک دمای ورودی بر آهنگ خروج رطوبت در این مرحله، ایجاد ترک در دانه تشدید می‌شود، زیرا چروکیدگی شدید دانه و در نتیجه، ایجاد تنش‌هایی در داخل دانه برنج و اختلاف در شدت خشک‌شدن در قسمتهای مختلف دانه برنج، ترک خوردن دانه را در پی دارد. طبق نتایج تحقیق بونازی و همکاران (۱۹۹۴)، نیز تأثیر دمای ورودی بر HRY از پارامترهای دیگر بیشتر است. نتایج پژوهش‌های آنچتا و آندالس (۱۹۹۰) نیز بیانگر اهمیت رطوبت نهایی بر HRY است. هاشمی سلیمانی (۱۳۷۶) در پژوهشی اهمیت دمای ورودی بر HRY را نشان داد و بیان کرد که دمای مناسب خشک‌کردن شلتوک باید کمتر از 50°C باشد. طی پژوهشی، تتر (۱۹۸۷) نیز بر اهمیت تنظیم دما به منظور حصول HRY مناسب تأکید کرده است، او دمای 45°C را برای خشک‌کردن بستر ثابت متوالی برنج توصیه کرده است. طی مطالعه خوش تقاضا و سلیمانی (۱۳۷۸) نیز مشخص شد که مهمترین عامل تأثیرگذار بر شکنندگی دانه برنج (رقم بینام)، دما است و میزان رطوبت نهایی در درجه دوم اهمیت قرار دارد.

طبق نتایج جدول ۶، به ترتیب دمای ورودی، سرعت هوا، عمق شلتوک و میزان رطوبت نهایی بیشترین تأثیر را بر SCE دارند، از طرفی میزان رطوبت اولیه و رطوبت نسبی هوا کمترین تأثیر را بر مقدار SCE دارند، زیرا باعث ایجاد کمترین مقادیر خطا در فرایند یادگیری شبکه‌ها می‌شود. در مرحله نزولی خشک‌شدن شلتوک، دمای هوا و سرعت هوا میزان مصرف انرژی را برای تبخیر وزن واحد آب افزایش می‌دهند. با توجه به اینکه بیشترین زمان خشک‌شدن شلتوک در مرحله نزولی رخ

داشت. مقدار R^2 شبکه پیشنهادی برای پیش بینی متغیرها بین ۰/۶۶ تا ۰/۹۵ قرار داشت. تحقیق مذکور برای خشک‌کردن شلتوک و محدوده بسیار کوچک در شرایط بستر ثابت متداول انجام گرفت. در حالیکه پژوهش حاضر در تمام محدوده بستر ثابت انجام شده است و تمام پارامترهای مؤثر ورودی در نظر گرفته شده و در آزمایشها لحاظ شده است.

برای بررسی اهمیت پارامترهای ورودی بر هر یک از متغیرهای خروجی، اقدام به تشکیل شبکه‌های تک خروجی شد. بدین ترتیب که چهار شبکه جداگانه با هفت متغیر ورودی (پارامترهای متغیر مستقل) و یک متغیر خروجی (متغیرهای وابسته) ایجاد شد. به روش ذکر شده برای شبکه قبل، شبکه‌های تک خروجی آموزش داده شدند و شبکه‌ها و توپولوژی‌های مناسب انتخاب شدند که بهترین نتایج در جدول ۵ آورده شده است.

به منظور بررسی میزان تأثیر پارامترهای ورودی بر مقدار متغیرهای وابسته SCE، HRY، ER و POR اقدام به حذف هر یک از پارامترهای ورودی در شبکه‌های مورد نظر شد، به طوری که در هر نوبت شش پارامتر ورودی به شبکه اعمال شد. نتایج در جدول ۶ نشان داده شده است. بدیهی است چنانچه حذف هر متغیر ورودی به تولید خطاهای مطلق بیشتری منجر شود بیانگر تأثیر بیشتر آن پارامتر ورودی بر مقدار متغیرهای مذکور خواهد بود.

با توجه به نتایج حاصله می‌توان دریافت که به ترتیب دمای ورودی و میزان رطوبت نهایی بیشترین تأثیر و رطوبت نسبی هوا و عمق شلتوک کمترین تأثیر را بر HRY در محدوده انجام آزمایش‌ها دارند، زیرا دمای هوا و میزان رطوبت نهایی به ترتیب باعث ایجاد بیشترین خطا در HRY می‌شوند، به طوری که رطوبت نسبی هوا و عمق شلتوک به ترتیب کمترین تأثیر را بر HRY داشتند. با توجه به اینکه خشک‌کردن شلتوک

میزان رطوبت نهایی بیشتر می‌شود. پارامترهای هوای محیط تأثیر قابل توجهی بر آهنگ تبخیر نمی‌گذارند. لذا می‌توان در آزمایش‌ها و طراحی شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی این پارامتر از لحاظ کردن آنها صرف‌نظر کرد تا شبکه ساده‌تری حاصل شود. نتایج تحقیقات لی و همکاران (۱۹۸۷) نیز وابستگی شدید سینتیک خشک‌شدن به دمای هوا را نشان می‌دهد.

بیشترین تأثیر را بر POR ، متغیرهای دمای ورودی و میزان رطوبت نهایی دارند. زیرا باعث ایجاد بیشترین مقادیر خطای مطلق میانگین در فرایند پیش‌بینی شده‌اند. در مرحله نزولی خشک‌شدن شلتوک، میزان رطوبت نهایی عامل محدودکننده در افزایش POR است، ولی قبل از این مرحله، افزایش دمای هوای ورودی باعث افزایش POR می‌شود. شایان ذکر است که تأثیر متغیرهای مذکور، به صورت برابری دو مرحله ثابت و نزولی خشک‌کردن شلتوک است و تحلیل دقیق آنها مشکل است. پس از آن، متغیرهای میزان رطوبت اولیه، عمق شلتوک و سرعت هوا در درجه بعدی اهمیت قرار دارند. در صورتیکه دما و رطوبت نسبی هوا کمترین تأثیر را بر POR دارند زیرا حذف آنها تأثیر قابل توجهی بر POR ندارد.

می‌دهد عوامل مذکور بر SCE تأثیر نامطلوب می‌گذارند و سبب افزایش SCE می‌شوند. البته با افزایش عمق شلتوک و میزان رطوبت نهایی این اثر کاهش می‌یابد. تأثیر عمق شلتوک بر انرژی مصرفی توسط پراساد و همکاران (۱۹۹۴) بیان شده است، زیرا آنها پس از اجرای آزمایش‌های خشک‌کردن شلتوک در محدوده عمق ۱۰ تا ۲۰ cm، عمق ۲۰ cm را توصیه کردند. نتایج تحقیقات سادرلند و غالی (۱۹۹۰) نیز اهمیت اعمال دمای بالاتر، بستر عمیق‌تر دانه و سرعت کمتر هوای ورودی را در کاهش هزینه‌ها و کاهش مصرف انرژی نشان می‌دهد.

بیشترین تأثیر پارامترهای ورودی بر ER به ترتیب مربوط به متغیرهای دمای ورودی، عمق شلتوک، سرعت هوا و میزان رطوبت نهایی است. در صورتی که کمترین تأثیر مربوط به میزان رطوبت اولیه و دمای هوا است. این نتیجه بیانگر میزان اهمیت دمای ورودی و میزان رطوبت نهایی شلتوک است. به دلیل کاهش آهنگ تبخیر در مرحله نزولی خشک‌کردن نسبت به مرحله ثابت، دمای ورودی و میزان رطوبت نهایی به عنوان عوامل محدودکننده بر روی این متغیر مطرح می‌شوند. قبل از رسیدن به نقطه بحرانی خشک‌شدن، دمای هوا تأثیر زیادی بر آهنگ خشک‌کردن می‌گذارد ولی پس از رسیدن به این نقطه، تأثیر دمای ورودی کاهش می‌یابد و نقش

جدول 1- مقادیر سرعت انتخاب‌شده و دور موتور دمنده متناظر با آن از منحنی‌های سرعت هوا- افت فشار برای انجام آزمایش‌های بستر ثابت

عمق (m)		پارامتر					
5	سرعت هوا (m/s)	0/1	0/3	0/6	0/8	1	-
	دور موتور (rpm)	240	500	750	870	1000	-
12/5	سرعت هوا (m/s)	0/1	0/3	0/6	0/9	1/3	-
	دور موتور (rpm)	380	600	900	1050	1300	-
20	سرعت هوا (m/s)	0/1	0/4	0/8	1/1	1/4	2/2
	دور موتور (rpm)	430	700	900	1200	1400	1650

جدول ۲- محدوده در نظر گرفته شده برای متغیرهای مستقل در شرایط بستر ثابت

پارمتر سطوح	سرعت هوای ورودی (m/s)	رطوبت نهایی شلتوک (%w.b.)	رطوبت اولیه شلتوک (%w.b.)	دمای هوای ورودی (°C)	رطوبت نسبی هوای محیط (%)	دمای هوای محیط (°C)	عمق شلتوک (cm)
کمینه	0/1	10	14/9	40	40	20	5
پیشینه	2/2	14	22	70	90	30	20
تعداد سطوح	7	3	-	4	6	3	3

جدول ۳- نتیجه حاصل از بکارگیری الگوریتم یادگیری LM، تابع آستانه LOGSIG در شبکه CFBP با توپولوژی 4-9-12-7 (الف) آزمون

چرخه آموزش	SD_{ma} (HRY SCE ER POR)	E_{ma} (HRY SCE ER POR)	R^2 (HRY SCE ER POR)	MSE
19	0/0191	0/0198	0/9260	0/00061
	727	734	0/9145	
	0/000098	0/0001	0/9045	
	0/92	0/65	0/8985	

(ب) اعتبارسنجی

SD_{ma} (HRY SCE ER POR)	E_{ma} (HRY SCE ER POR)	R^2 (HRY SCE ER POR)
0/022	0/021	0/9060
833	845	0/8921
0/00031	0/0002	0/9020
1/02	0/93	0/8826

جدول 4- نتیجه حاصل از اعمال نویز در بکارگیری الگوریتم یادگیری LM تابع آستانه LOGSIG در شبکه CFBP با توپولوژی 4-9-12-7

(الف) آزمون

چرخه آموزش	SD_{ma}	E_{ma}	R^2	MSE (آموزش)
	(HRY SCE ER POR)	(HRY SCE ER POR)	(HRY SCE ER POR)	
35	0/023	0/022	0/9012	0/00075
	872	854	0/8932	
	0/0002	0/0002	0/8865	
	1/15	0/78	0/8703	

(ب) اعتبارسنجی

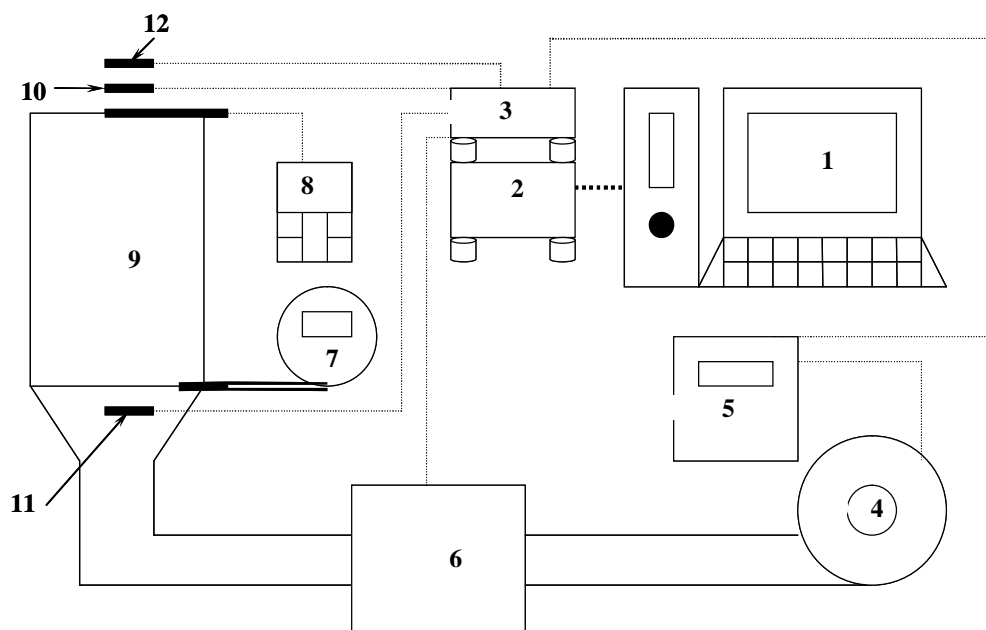
SD_{ma}	E_{ma}	R^2
(HRY SCE ER POR)	(HRY SCE ER POR)	(HRY SCE ER POR)
0/029	0/025	0/8808
923	895	0/8656
0/0004	0/0003	0/8762
1/98	1/23	0/8662

جدول 5- بهترین شبکه‌ها و توپولوژی‌های حاصل برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته در شرایط تک خروجی

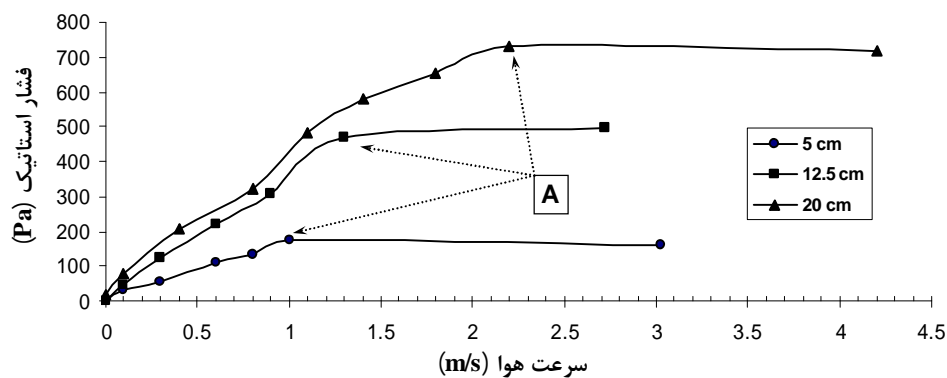
متغیر خروجی	شبکه	تابع آستانه	MSE	R ² (ارزیابی اعتبارسنجی)	E _{ma} (ارزیابی اعتبارسنجی)	SD _{ma} (ارزیابی اعتبارسنجی)	چرخه آموزش
HRY	CFBP	LOGSIG	0/00025	0/9649	0/017	0/016	18
				0/9351	0/020	0/023	
SCE	FFBP	LOGSIG	0/00069	0/9616	361	252	15
				0/9492	369	273	
ER	FFBP	LOGSIG	0/0013	0/9629	0/0001	0/0001	13
				0/9279	0/0001	0/0001	
POR	FFBP	LOGSIG	0/00067	0/9573	0/75	1/12	18
				0/9372	0/98	1/52	

جدول 6- ترتیب اهمیت پارامترهای ورودی بر متغیرهای خروجی

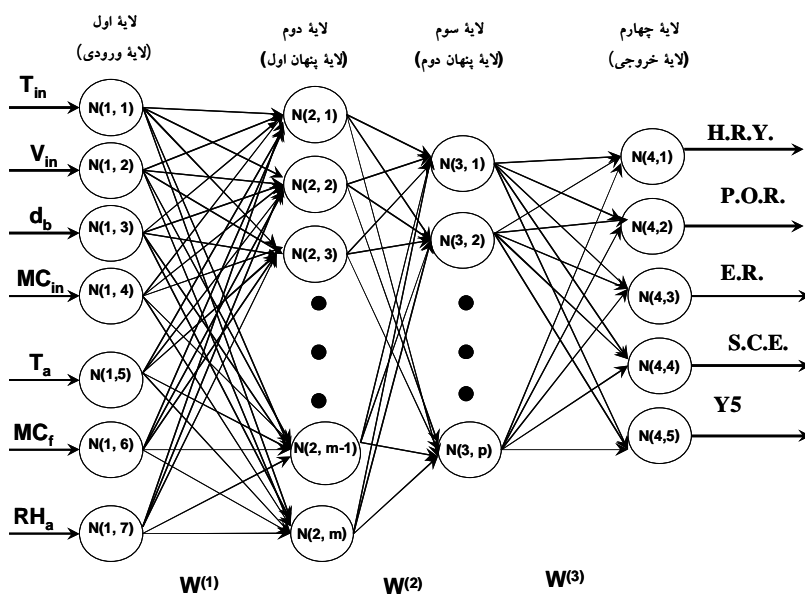
متغیر خروجی	HRY	SCE	ER	POR
ترتیب اهمیت	1	2	3	4
	T _{in}	MC _f	d _b	T _{in}
	MC _f	V _{in}	V _{in}	MC _{in}
	MC _{in}	d _b	MC _f	V _{in}
	V _{in}	MC _f	MC _f	V _{in}
	T _a	T _a	RH _a	d _b
	T _a	RH _a	MC _{in}	RH _a
	RH _a	d _b	T _a	T _a



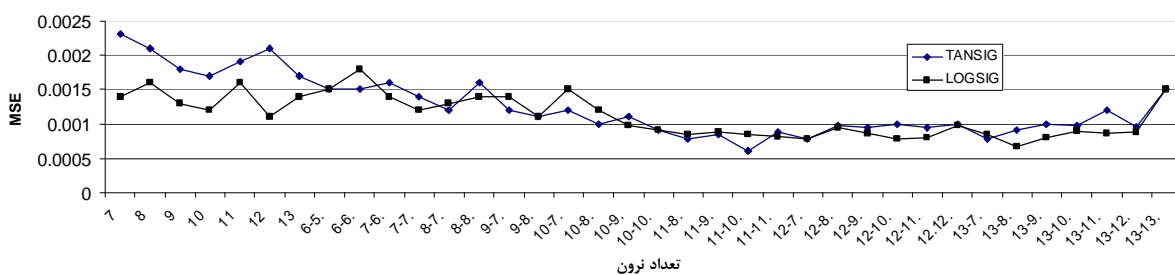
شکل 1- نمای کلی خشک کن آزمایشگاهی (1- رایانه، 2 و 3- منبع تغذیه، اتصال حسگرها و سیستم کنترل، 4- دمنده، 5- اینورتر، 6- کوره حرارتی، 7- فشارسنج، 8- بادسنج، 9- محفظه خشک کن 10 و 11- حسگر دما، و 12- حسگر رطوبت نسبی)



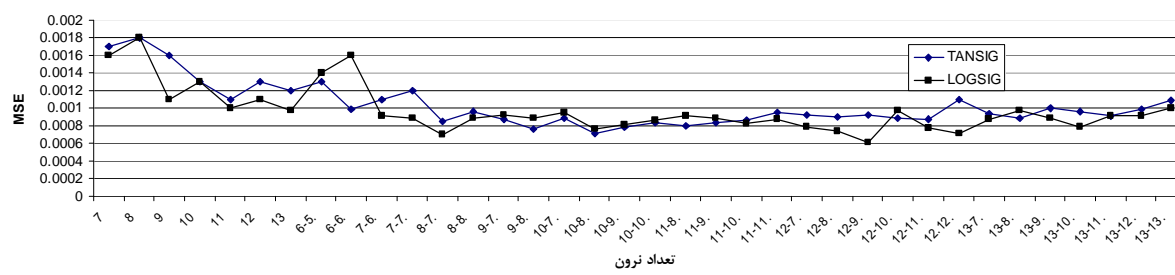
شکل 2- منحنی مشخصه افت فشار-سرعت هوا برای شرایط بستر ثابت در عمق‌های 5 cm، 12/5 cm و 20 cm (نقطه حد اقل سیال‌سازی A=)



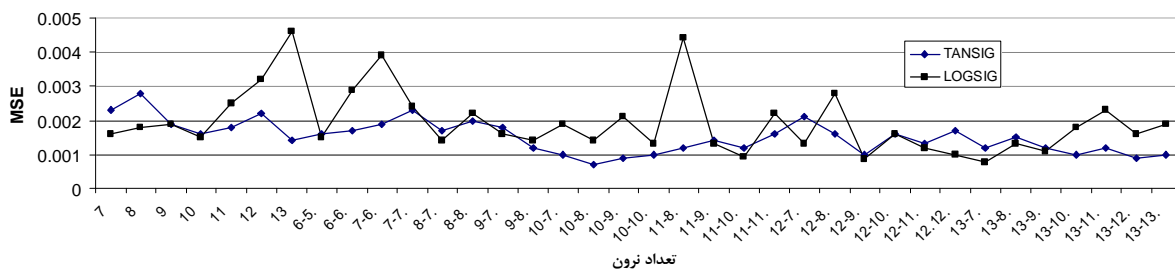
شکل ۳- ساختار عمومی شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده



(الف) شبکه FFBP

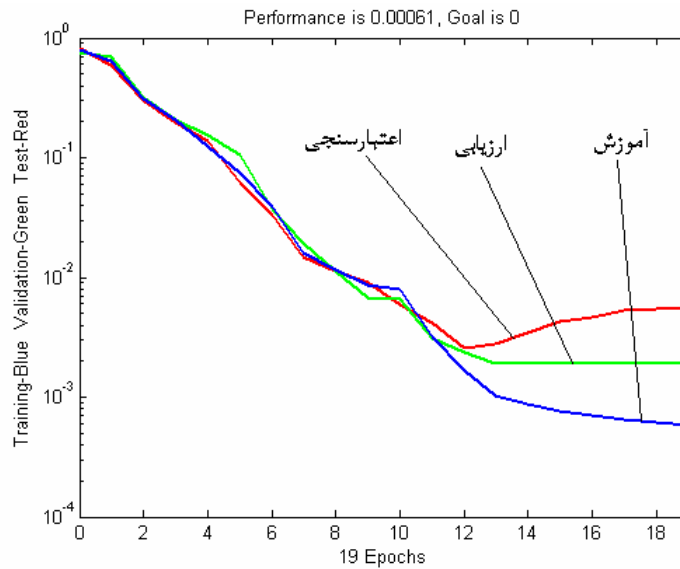


(ب) شبکه CFBP



(ج) شبکه EN

شکل ۴- مقادیر MSE برای الگوریتم آموزشی LM و برخی از بهترین توپولوژیهای شبکه‌های FFBP ، CFBP ، EN



شکل 5- چگونگی یادگیری شبکه **CFBP**. الگوریتم یادگیری **LM** تابع آستانه **LOGSIG** با توپولوژی

7-12-9-4

منابع مورد استفاده

- بی نام، ۱۳۸۶. برنج در آیینة آمار. انتشارات اداره کل آمار و اطلاعات، وزارت جهاد کشاورزی.
- پیمان م ح، توکلی هسجین ت و مینایی س، ۱۳۷۹. تعیین فاصله مناسب بین غلطکها در پوست کن غلطک لاستیکی برای تبدیل سه رقم برنج متداول در استان گیلان. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. ۲۰ (۵): ۳۷-۴۸.
- خوش تقاضا م ه و سلیمانی م، ۱۳۷۸. تأثیر پارامترهای خشک کن بر شکنندگی برنج. مجله علمی و پژوهشی علوم کشاورزی. ۲۰ (۵): ۴۹-۶۲.
- کیانمهر م، ۱۳۸۰. بررسی عوامل مؤثر فیزیکی در ترک خوردگی شلتوک در خشک کن با جریان معکوس شونده هوا. رساله دکتری مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
- صادقی م، ۱۳۸۳. بررسی تاثیر ارتعاش بر عملکرد خشک کنهای بستر سیال برای خشک کردن چای. رساله دکتری مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
- هاشمی سلیمانی س، ۱۳۷۶. ضرورت تهیه و اجرای برنامه جامع در صنایع تبدیلی برنج. گزارش کار ششمین گردهمایی برنج کشور در اصفهان. انتشارات اداره کل آمار وزارت کشاورزی، ۱۳۵-۱۲۵.
- رفیعی ش، ۱۳۷۶. بررسی روش متداول خشک کردن شلتوک. پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران.
- یوسفیان م، ۱۳۷۶. خشک کنها در صنعت پس از برداشت برنج. (تالیف ویمبرلی). انتشارات طرح توسعه آبریز هراز. ۵۸ صفحه.

- Ancheta CJ and Andales SC, 1990. Total milled and head rice recoveries of paddy as influenced by its physico-varietal characteristics. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America (AMA)* 21: 34-39.
- Bonazzi C, Du Peuty MA, and Themelin A, 1997. Influence of drying conditions on the processing quality of rough rice. *Drying Technology* 3&4 (15): 1141-1157.
- Brooker D B, Bakker-Arkema F W, and Hall C W, 1992. *Drying and Storage of Grain and Oilseeds*. Van Nostrand Reinhold. New York. USA.
- Bunyawanichakul P, Walker GJ, Sargison JE and Doe PE, 2007. Modeling and Simulation of Paddy Grain (Rice) Drying in a Simple Pneumatic Dryer. *Biosystems Engineering* 96(3): 335-344.
- Chen H, Siebenmorgen TJ and Marks BP, 1997. Relating drying rate constant to reduction of long-grain head-rice yield. *Transactions of the ASAE* 40(4): 1132-1139.
- Cubillos F and Reyes A, 2003. Drying of Carrots in a fluidized bed. II. Design of a model based on a modular neural network approach. *Drying Technology* 21(7): 1185-1196.
- Demuth H and Beale M, 2003. *Neural Network Toolbox for Matlab- Users Guide Version 4.1*. The Mathworks Inc. Natick. USA.
- Elman JL, 1990. Finding structure in time. *Cognitive Sciences* 14:179-211.
- FAO, 2004. FAO Organization. Available on the WWW. FAO.org.
- Farkas I, Remenyi P and Biro A, 2000. Modeling aspects of grain drying with a neural network. *Computer and Electronics in Agriculture* 29: 99-113.
- Erenturk K, Erenturk S and Tabil LG, 2004. A comparative study for the estimation of dynamical drying behavior of *Echinacea Angustifolia*: regression analysis and neural network. *Computer and Electronics in Agriculture* 45: 71-90.
- Erenturk S and Erenturk K, 2007. Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *Journal of Food Engineering* 78: 905-912.
- Heristev RM, 1998. *The ANN Book*. GNU Public License. USA.
- Islam MR, Sablani SS and Mujumdar AS, 2003. An artificial neural network model for prediction of drying rates. *Drying Technology* 21(9): 1867-1884.
- Jia C, Yang W and Wu B, 2002. Mathematical modeling and glass transition mapping for rice drying in a cross flow dryer. *ASAE Annual International Meeting*. Hyatt Regency Chicago. Illinois. USA.
- Jindal VK, and Siebenmorgen TJ, 1994. Simulation of low-temperature rough rice drying and rewetting in shallow beds. *Transactions of the ASAE* 37(5): 863-871

- Martynenko AI and Yang SX, 2006. Biologically inspired neural computation for ginseng drying rate. *Biosystems Engineering* 95(3): 385-396.
- McCabe LW, Smith JC and Harriot P, 1988. *Unit Operation of Chemical Engineering*. New York: McGraw Hill Book Company. USA.
- Peuty MA, Themelin A, Cruz JF, Arnand G and Fohr JP, 1994. Improvement of paddy quality by optimization of drying conditions. In: *Drying 94*, edn. Roudolph V and Keey PB, 929-935.
- Poonnoy P, Tansakul A and Chinnan M, 2006. Estimation of moisture ratio of a mushroom undergoing microwave vacuum drying using artificial neural network and regression models. *Proceeding of the international conference on innovations in food and bioprocess technologies*. December 12-14. Pathumthani-Thailand, Pp. 477-491.
- Poonnoy P, Tansakul A and Chinnan M, 2007. Artificial neural network modeling for temperature and moisture content prediction in tomato slices undergoing microwave vacuum drying. *Journal of Food Sciences* 72(1): 42-47.
- Prasad BVS, Chandra PK and Bal S, 1994. Drying parboiled rough rice in stationary, semi-fluidized and fluidized conditions. *Transactions of the ASAE* 37(2): 589-594.
- Sun ZH and Siebenmorgen T, 1993. Milling characteristics of various rough rice kernel thickness fractions. *Cereal Chemistry* 70(6): 727-733.
- Sutherland JW and Gholy TF, 1990. Rapid fluid bed drying of paddy rice in the humid tropics. *Proceedings of ASEAN Seminar on Post harvest Technology*. Brunei Darussalam, 19-30.
- Teter N, 1987. *Paddy Drying Manual*. Rome: Food and Nutrition Series (FAO). Italy.
- USD A, 1979. *Inspection Handbook for the Sampling, Inspection, Grading and Certification of Rice*. HB 918-11. Washington D. C.: Agricultural Marketing Service.
- Xie G and Xiong R, 1999. Use of hyperbolic and neural network models in modeling quality changes of dry peas in long time cooking. *Journal of Food Engineering* 41: 151-162.
- Zare D, Minaei S, Mohamad Zadeh M and Khoshtaghaza MH, 2006. Computer simulation of rough rice drying in a batch dryer. *Energy Conversion and Management* 47(18-19): 3241-3254
- Zbicinski I and Ciesielski K, 2000. Extension of the neural networks operating range by the application of dimensionless numbers in prediction of heat transfer coefficients. *Drying Technology* 18(3): 649-660.
- Zbicinski I, Strumillo P and Kaminski W, 1996. Hybrid neural model of thermal drying in a fluidized bed. *Computers Chemical Engineering* 20: 695-700.
- Zhang Q, Yang SX, Mittal GS and Yi S, 2002. Prediction of performance indices and optimal parameters of rough rice drying using neural network. *Biosystems Engineering* 83(3): 281-290.