

پیش بینی متغیرهای کیفی، انرژی و سینتیک خشک شدن شلتوک در شرایط بستر سیال به کمک شبکه های پس انتشار (۵۸۸)

رضا امیری چایجان^۱، محمد هادی خوش تقاضا^۲

چکیده

به منظور تخمین همزمان چهار متغیر مؤثر در خشک کردن بستر سیال شلتوک از شبکه های عصبی مصنوعی استفاده شد. پارامترهای مؤثر در عملکرد خشک کن های بستر سیال شلتوک در شرایط آزمایشگاهی لحاظ شد. تعداد ۲۷۴ آزمایش به وسیله یک خشک کن آزمایشگاهی انجام شد. برای به دست آوردن متغیرهای خروجی از روابط فیزیکی و ترمودینامیکی استفاده شد. برای انجام آزمایش ها از دستگاه های آزمایشگاهی مختلف استفاده شد. نتایج بررسی ها نشان داد که بهترین نتایج برای شبکه پس انتشار پیشرو با توپولوژی ۴-۱۰-۱۱-۷، الگوریتم آموزش لونیبرگ-مارکوارت و تابع آستانه لگاریتم سیگموئید حاصل می شود. با توپولوژی مذکور، مقدار خطای مربعات میانگین، $0/00051$ بود. مقادیر ضریب همبستگی برای پیش بینی متغیرهای خروجی بین $0/9050$ و $0/9570$ به دست آمد. اعمال نویز به شبکه بهینه نشان داد که پایداری شبکه مناسب است، به طوری که افزایش متوسط خطا $1/47$ درصد بوده است.

کلیدواژه: شلتوک، انرژی، شبکه های عصبی، خشک کردن

۱- استادیار مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، پست الکترونیک: amirireza@basu.ac.ir

۲- دانشیار مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

افزایش مصرف سرانه برنج در ایران، ضرورت 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. 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 می‌ابد. در حالی که در میزان رطوبت پایین‌تر، انرژی لازم برای خشک کردن کاهش می‌یابد [۵].

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 ذخیره ازی، 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 ۱۳ درصد (پایه تر) باشد [۲۶].

یکی از سیستم‌های نوین خشک کردن شلتوک، خشک‌کن بستر سیال است که یافتن نقطه بهینه آن نیز می‌تواند در طراحی، ساخت و کاربرد این سیستم برای بهبود شاخص‌های کیفی خشک کردن شلتوک، زمینه ورود آن را به صنعت برنج کشور فراهم کند. فناوری سیال‌سازی یکی از روشهایی است که به طور گسترده در خشک کردن مواد غذایی و کشاورزی استفاده می‌شود. روش بستر سیال به عنوان یک روش آرام و یکنواخت خشک شدن شناخته شده است که قابلیت کاهش رطوبت مواد را با بازده بالا دارد. در فرایند خشک کردن 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 خشک شدن 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 [۴].

روش متداول برای بررسی شرایط فراوری پارامترهای کیفی محصولات کشاورزی، روش‌های آماری است. در این روش واقعیت پدیده به کمک یک معادله جبری بیان می‌شود که فرضیات اصلی مسأله در آن لحاظ شده است. تحلیل آماری مسائل حرارتی 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 و استفاده می‌شود. یک شبکه عصبی مصنوعی، مجموعه‌ای از عناصر محاسباتی متصل به همدیگر است که شبیه نرونها زبستی است. این مجموعه قادر است بدون هیچ دانش قبلی ارتباط ذاتی موجود میان داده‌های مسأله را کشف و در خود حفظ کند [۱۰].

پژوهشگران بسیاری از روشهای آزمایشی، آماری و ریاضی برای تحلیل، پیش‌بینی و مدلسازی متغیرهای خشک‌کن‌های بستر سیال اقدام کردند که برخی از آنها عبارتند از: جینر و دی‌میشلیز (۱۹۸۸)، پراساد و همکاران (۱۹۹۴)؛ دی متیا و همکاران (۱۹۹۶)؛ سوپونونارایت (۱۹۹۹)؛ تمپل و همکاران (۲۰۰۰)، صادقی (۱۳۸۳)؛ جاروس و پاییس (۲۰۰۶).

محققین بسیاری نیز از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای دستیابی به اهداف مورد نظر در زمینه‌های کشاورزی استفاده کرده‌اند که برخی از آن‌ها عبارتند از: اسلام و همکاران (۲۰۰۳) برای پیش‌بینی نرخ خشک کردن قطعات سیب زمینی، زانگ و همکاران (۲۰۰۲) برای پیش‌بینی شاخصه‌های خشک کردن شلتوک از پارامترهای مؤثر در خشک کردن به روش بستر ثابت، کویلیوس و ریز (۲۰۰۳) برای پیش‌بینی میزان رطوبت خروجی در فرایند خشک کردن هویج، ارن‌تورک و همکاران (۲۰۰۴) برای مدلسازی دینامیکی خشک کردن لایه نازک گیاه اکتاسه آنگوستیفولیا (یک گیاهی دارویی)، ارن‌تورک و ارن‌تورک (۲۰۰۷) در فرایند خشک کردن لایه نازک هویج، مارتینکو و یانگ (۲۰۰۶) برای تعیین آهنگ خشک کردن 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 میکروبیو خلائی.

با توجه به ضرورت های بیان شده، هدف این تحقیق عبارت است از: ایجاد ارتباط بین متغیرهای مستقل مؤثر در فرایند خشک کردن شلتوک به روش بستر سیال با شاخص های کیفی، انرژی، سینتیک خشک کردن و ظرفیت خشک کن در شرایط بستر ثابت آزمایشگاهی به عنوان روش خشک کردن متداول و یافتن شبکه عصبی با توپولوژی مناسب به منظور پیش بینی متغیرهای مستقل در خشک کردن شلتوک.

مواد و روش ها

انتخاب پارامترهای ورودی و خروجی

برای ارزیابی خشک کن ها، چهار متغیر ظرفیت کاری خشک کن 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 می شود [۶، ۲۲]:

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

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

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

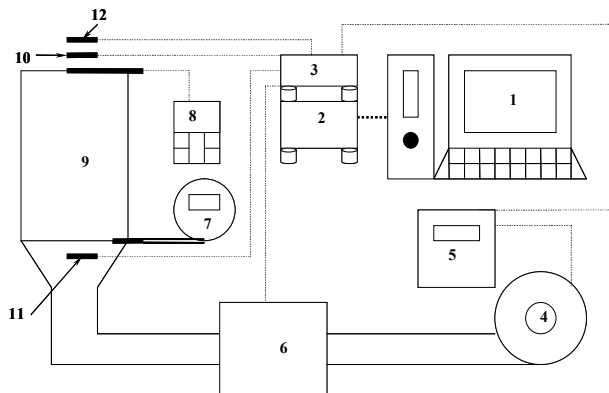
$$HRY = \frac{HR}{RW} \cdot 100 \quad (4)$$

در این روابط، POR آهنگ خروج محصول $(\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ، m_d جرم محصول خشک شده (kg) ، A_b سطح مقطع خشک کن (m^2) ، t زمان خشک شدن (s) ، ER آهنگ تبخیر $(\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ، m_v جرم رطوبت تبخیر شده (kg) ، SCE مصرف ویژه انرژی $(\text{J}/\text{kg} \cdot \text{v})$ ، Q دبی هوای ورودی به محفظه (m^3/s) ، C_{Pa} و C_{Pv} به ترتیب ظرفیت گرمای ویژه هوا و بخار $(\text{J}/\text{kg} \cdot \text{C})$ ، h_a رطوبت مطلق هوا (هوای خشک kg/kg بخار)، T_{in} دمای هوای ورودی به محفظه (C) ، T_a دمای هوای محیط (C) و V_h حجم ویژه هوا (m^3/kg) است. مقادیر گرمای ویژه هوا و بخار بترتیب برابر با $1004/16$ 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 می دهد که عوامل متعددی در عملکرد خشک شدن شلتوک و متغیرهای خروجی نقش تعیین کننده ای 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}) [۲، ۶، ۲۴].

خشک کن آزمایشگاهی

برای انجام آزمایش های بستر ثابت و سیال از خشک کن بستر سیال آزمایشگاهی که توسط صادقی و همکاران (۱۳۸۳) ساخته شده است، استفاده شد (شکل ۱). این خشک کن مجهز به دمنده ای سانتریفیوژی با پره های عقبگرد و موتور متحرک سه فاز، قدرت 2 hp و دور 2800 rpm است. یک کوره حرارتی هوای گرم را تامین می کند. محفظه خشک کن دارای سطح مقطع $0.16 \times 0.16 \text{ m}^2$ بوده و از جنس پلکسی گلاس شفاف است.



شکل ۱- نمای کلی خشک کن آزمایشگاهی (۱- رایانه، ۲ و ۳- منبع تغذیه، اتصال حسگرها و سیستم کنترل، ۴- دمنده، ۵- اینورتر،

۶- کوره حرارتی، ۷- فشارسنج، ۸- بادسنج، ۹- محفظه خشک کن ۱۰ و ۱۱- حسگر دما، و ۱۲- حسگر رطوبت نسبی)

روش و دستگاههای آماده سازی نمونه ها

شلتوک پس از برداشت به وسیله کمباین برنج، در کیسه های پلاستیکی بزرگ نگهداری شد. برای جلوگیری از کاهش رطوبت شلتوک، در پلاستیک، محکم بسته شد و در دمای 4°C در سردخانه نگهداری شد. قبل از انجام آرایش های خشک کردن، نمونه های شلتوک از یخچال خارج شده و به مدت حدود ۱۲ ساعت در دمای اتاق (حدود 20°C) به تعادل دمایی می رسید. برای تعیین رطوبت شلتوک از نمونه های 10 گرمی استفاده شد که به مدت ۲۴ ساعت و دمای 130°C در اجاق آزمایشگاهی قرار داده شد.

از یک دستگاه پوست کن شلتوک مشابه سازی شده از مدل ST50 شرکت یانمار ژاپن، برای انجام آزمایش ها استفاده شد. دستگاه مذکور دارای دو غلتک لاستیکی دوار است [۱]. برای سفید کردن نمونه های آزمایشی به منظور محاسبه ضریب تبدیل، از یک سفیدکن آزمایشگاهی ساخت شرکت KETT ژاپن مدل PEARLEST استفاده شد. پس از خارج کردن نمونه های سفید شده، برنج سفید سالم و شکسته به روش دستی جدا شده و وزن آن ثبت می شود.

برای اندازه گیری رطوبت نسبی هوای اتاق خشک کن از یک رطوبت سنج Lutron HT-3005 ساخت کشور تایوان استفاده شد. برای اندازه گیری دمای محیط از یک دماسنج دیجیتالی Lutron TM-915 ساخت کشور تایوان استفاده شد. به منظور اندازه گیری افت فشار ناشی از ستون بستر مواد در داخل محفظه خشک کن از یک فشارسنج دیجیتالی Testo 505-P1 ساخت کشور آلمان استفاده شد. برای اندازه گیری دبی هوای خروجی از محفظه خشک کن، از یک سرعت سنج پره ای Lutron A-M-4202 ساخت کشور تایوان استفاده شد.

روش انتخاب سرعت های هوای اعمال شده به بستر شلتوک

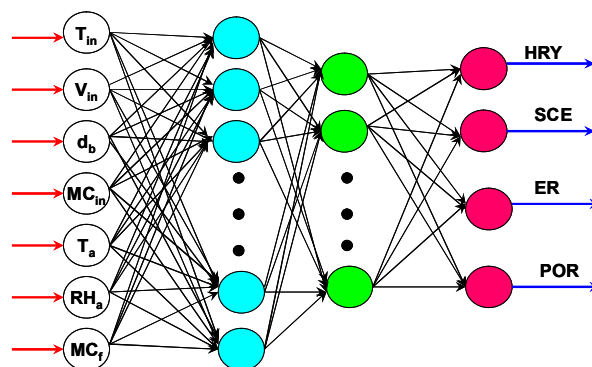
پس از انجام آزمایش های سیال سازی، منحنی های مشخصه سرعت هوا-افت فشار تحت شرایط مذکور سیال برای عمق های ۵، ۱۲/۵ و ۲۰ cm به دست آمد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

آموزش برای شبکه های عصبی مصنوعی

ساختار عمومی شبکه های عصبی چندلایه در شکل ۲ نشان داده شده است. لایه اول هفت نرون دارد که برابر با تعداد ورودی ها است. لایه دوم، لایه پنهان اول است و لایه سوم، لایه پنهان دوم است. محدوده آزمایش ها در جدول ۲ نشان داده شده است. به منظور بررسی و ارزیابی شبکه های مختلف، پایگاه داده ای به دو قسمت تقسیم شد: آموزش و ارزیابی. حدود ۲۵ درصد کل الگوها (۶۸ آزمایش) برای ارزیابی شبکه های آموزش دیده استفاده شد. نرم افزار 7 Neural Networks Toolbox MATLAB (ver. 4.01) برای طراحی و ارزیابی شبکه های عصبی مصنوعی مختلف استفاده شد.

جدول ۱- مقادیر سرعت انتخاب شده از منحنی های سرعت هوا- افت فشار برای انجام آزمایش های بستر سیال

پارامتر					عمق (m)
۷/۹	۷	۶/۶	۳/۱	۱/۵	۵
۲۸۰۰	۲۴۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰۰	۱۱۰۰	سرعت هوا (m/s)
-	۷/۷	۷/۳	۵/۷	۲/۳	۱۲/۵
-	۲۸۰۰	۲۴۰۰	۲۰۰۰	۱۶۰۰	سرعت هوا (m/s)
-	-	۶/۵	۴/۱	۱/۷	۲۰
-	-	۲۸۰	۲۴۰۰	۲۰۰۰	سرعت هوا (m/s)
-	-	-	-	-	دور موتور (rpm)



شکل ۲- ساختار عمومی شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده

برای پردازش داده‌ها، از شبکه‌های متعدد استفاده شد که عبارتند از:

الف) شبکه های پس انتشار پیشخور (FFBP): ساختار ایستایی (غیر وابسته به زمان) این شبکه در مسائل مهندسی و محاسبات علمی کاربرد دارد [۱۵]. نرون‌ها که عناصر پردازشگر سیگنال هستند از طریق اتصالات سیناپسی بین لایه‌ای پیشخور به هم متصل می‌شوند. ارتباط ورودی-خروجی ممکن است به وسیله توابع نگاشت (توابع آستانه) غیرخطی انجام شود. الگوریتم پس‌انتشار خطا روش اصلی برای بهنگام‌سازی وزن‌های شبکه FFBP برای انجام محاسبات است. لایه اول، لایه ورود اطلاعات است و هیچ‌گونه پردازشی در این لایه انجام نمی‌شود. لایه آخر لایه خروجی شبکه بوده و کاربر یا سیستم کنترل می‌تواند اطلاعات پردازش شده را دریافت کند.

ب) شبکه‌های پس‌انتشار پیشرو (CFBP): این شبکه‌ها نیز مانند شبکه پس‌انتشار پیشخور از الگوریتم پس‌انتشار خطا برای بهنگام‌سازی وزن‌ها استفاده می‌کند ولی خصوصیات اصلی شبکه مذکور این است که نرون‌های هر لایه به همه نرون‌های لایه‌های قبل متصل است. توابع آستانه و الگوریتم‌های بکار گرفته شده برای شبکه پس‌انتشار پیشرو مشابه شبکه پس‌انتشار پیشخور است. نکته قابل توجه این است که به دلیل افزایش پیوندهای بین‌نرونی، شبکه بکار رفته پیچیده‌تر می‌شود، زیرا حجم محاسبات آن افزایش می‌یابد [۸].

ج) شبکه آلمان (EN): این شبکه یکی از شبکه‌های بازگشتی است و جزء شبکه‌های پس‌انتشار به شمار می‌رود که یک پیوند پس‌خوردی از خروجی لایه پنهان به ورودی آن دارد. این مسیر بازخوردی برای شبکه آلمان این امکان را فراهم می‌کند تا الگوهای موقتی را مانند الگوهای دائمی فرا بگیرد [۱۱]. فاصله الگوریتم یادگیری به کار رفته برای شبکه آلمان نیز، پس‌انتشار است و توابع آستانه و الگوریتم‌های به کار رفته برای شبکه آلمان نیز مانند دو شبکه اخیر است.

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

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	۱/۴۷	۱۰	۱۴/۹	۴۰	۴۰	۲۰	۵
بیشینه	۷/۹	۱۴	۲۲	۷۰	۹۰	۳۰	۲۰
تعداد سطوح	۵	۳	-	۴	۶	۳	۳

بررسی قابلیت تعمیم شبکه عصبی آموزش دیده، آخرین مرحله در توسعه مدل شبکه عصبی مصنوعی است. برای یافتن شبکه‌ای با معماری مناسب به کمک الگوریتم‌های آموزشی، از معیار خطای مربعات میانگین استفاده می‌شود [۱۵]:

$$MSE = \frac{\sum_{p=1}^M \sum_{i=1}^N (S_{ip} - T_{ip})^2}{n_p \cdot n_o} \quad (5)$$

که در آن، MSE خطای مربعات میانگین، 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 تعیین (R^2)، خطای مطلق میانگین (E_{ma})، انحراف معیار خطای مطلق میانگین (SD_{ma})، خطای نسبی میانگین (E_{mr}) و انحراف معیار خطای نسبی میانگین (SD_{mr}) که به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n [S_k - T_k]^2}{\sum_{k=1}^n [S_k - T_m]^2}, \quad \left(T_m = \frac{\sum_{k=1}^n S_k}{n} \right) \quad (6)$$

$$E_{ma} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |S_k - T_k| \quad (7)$$

$$SD_{ma} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (|S_k - T_k| - |S_k - T_k|)}{n-1}} \quad (8)$$

$$E_{mr} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \frac{S_k - T_k}{T_k} \right| \quad (9)$$

$$SD_{mr} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \left(\left| \frac{S_k - T_k}{T_k} \right| - \left| \frac{S_k - T_k}{T_k} \right| \right)}{n-1}} \quad (10)$$

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

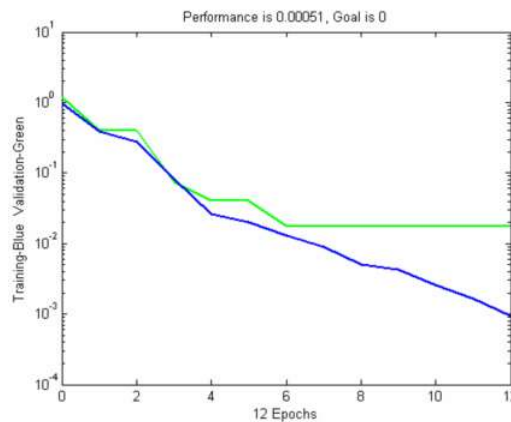
توابع آستانه مختلفی برای یافتن حالت بهینه شبکه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت که عبارتند از: تابع سیگموئید لگاریتمی، تابع خطی و تابع تانژانت هایپربولیک سیگموئید، همچنین الگوریتم آموزش بکاررفته برای بهنگام‌سازی وزنه‌های شبکه‌ها، الگوریتم لونبرگ-مارکواریت (LM) است که بر مبنای ماتریس هسین است و به شبکه اجازه می‌دهد تا با دقت بیشتری الگوها را فرا بگیرد. برای هنجارسازی تمامی عناصر موجود در یک الگو، داده‌های مربوطه به دامنه‌های [۰، ۱] و [-۱، ۱] تبدیل شدند.

نتایج و بحث

سه شبکه FFBP، CFBP و EN برای به دست آوردن جواب مناسب به کار رفت. کاربرد الگوریتم LM با سه شبکه مذکور نشان داد که بهترین نتیجه مربوط به شبکه FFBP، تابع آستانه TANSIG و توپولوژی ۴-۱۰-۱۱-۷ است. خطای آموزش آن ۰/۰۰۰۵۱ است که بهترین توپولوژی در میان توپولوژی‌های مورد آزمایش است (جدول ۳). مقادیر R^2 ، E_{ma} ، SD_{ma} ، E_{mr} و SD_{mr} برای هر چهار متغیر و الگوهای ارزیابی وضعیت مناسبی دارد. اختلاف اندک بین مقادیر ارزیابی بیانگر یادگیری مناسب شبکه طراحی شده بهینه است. روند یادگیری شبکه طراحی شده بهینه در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنان که ملاحظه می‌شود تا ششمین چرخه آموزش، روند یادگیری الگوهای آموزش، ارزیابی و اعتبارسنجی بسیار به هم نزدیک است. ولی پس از آن اندکی واگرایی مشاهده می‌شود. لیکن بعد از چرخه آموزش شش، مقدار MSE الگوهای آموزش کاهش می‌یابد و به ۰/۰۰۰۵۱ می‌رسد. با این وجود مقادیر معیارها برای الگوهای ارزیابی مناسب است.

جدول ۳- نتیجه حاصل از بکارگیری الگوریتم یادگیری BR، تابع آستانه TANSIG در شبکه FFBP با توپولوژی ۴-۱۰-۱۱-۷

چرخه آموزش	SD_{mr} (HRY SCE ER POR)	E_{mr} (HR Y SCE ER POR)	SD_{ma} (HRY SCE ER POR)	E_{ma} (HRY SCE ER POR)	R^2 (HRY SCE ER POR)	MSE
۱۲	۱۱/۱۳	۹/۳۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۳	۰/۹۱۵۶	۰/۰۰۰۵۱
	۱۳/۲۸	۱۰/۵۲	۴۵۸	۵۲۴	۰/۹۰۵۰	
	۱۰/۳۶	۸/۵۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۹۳۱۲	
	۱۰/۱۳	۸/۸۱	۷/۵۳	۳/۹۸	۰/۹۵۷۰	



شکل ۳- چگونگی یادگیری شبکه CFBP، الگوریتم یادگیری LM، تابع آستانه TANSIG با توپولوژی ۴-۱۰-۱۱-۷

به منظور بررسی پایداری شبکه مذکور نیز نویزی تصادفی با دامنه‌ای برابر با $\pm 10\%$ درصد دامنه الگوهای ورودی به آنها افزوده شد. نتایج نشان داد که شبکه مذکور پایداری مناسبی و قابلیت اعتماد بالایی در مواجهه با الگوهای ناشناخته دارد. زیرا مقادیر R^2 ، MSE ، خطاها و انحراف معیارها تغییرات ناگهانی نداشتند (جدول ۴). نتایج مربوطه همچنین بیانگر عدم ورآموزی شبکه است، زیرا با اعمال نویز به شبکه، قدرت پیش‌بینی آن کاهش قابل ملاحظه‌ای را نداشته است. به طوری که مقدار متوسط E_{mr} برای چهار متغیر از مقدار $9/25\%$ در قبل از اعمال نویز به $10/77\%$ بعد از اعمال نویز رسیده است که افزایش $1/47$ درصدی خطا را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نتیجه حاصل از اعمال نویز در بکارگیری الگوریتم یادگیری LM، تابع آستانه TANSIG در شبکه FFBP با توپولوژی

۷-۱۱-۱۰-۴

چرخه آموزش	SD_{mr} (HRY SCE ER POR)	E_{mr} (HRY SCE ER POR)	SD_{ma} (HRY SCE ER POR)	E_{ma} (HRY SCE ER POR)	R^2 (HRY SCE ER POR)	MSE
۱۹	۱۳/۳۲	۱۱/۲۲	۰/۰۳۱	۰/۰۲۸	۰/۸۸۳۱	۰/۰۰۰۷۷
	۱۵/۲۸	۱۲/۵۲	۵۸۵	۶۳۳	۰/۸۷۹۲	
	۱۳/۲۲	۱۰/۱۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۹۰۲۵	
	۱۱/۳۳	۹/۲	۸/۱۱	۴/۵۱	۰/۹۲۴۲	

منابع مورد استفاده

۱. پیمان، م. ح.، توکلی هاشجین، ت. و مینایی، س. ۱۳۷۹. تعیین فاصله مناسب بین غلطک‌ها در پوست‌کن غلطک لاستیکی برای تبدیل سه رقم برنج متداول در استان گیلان. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، ۲۰ (۵): ۳۷-۴۸.
۲. کیانمهر، م. ۱۳۸۰. بررسی عوامل مؤثر فیزیکی در ترک‌خوردگی شلتوک در خشک‌کن با جریان معکوس‌شونده هوا. رساله دکتری مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
۳. صادقی، م. ۱۳۸۳. بررسی تاثیر ارتعاش بر عملکرد خشک‌کنهای بستر سیال برای خشک‌کردن چای. رساله دکتری مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
4. Bonazzi, C. Du Peuty, M.A. and Themelin, A. 1997. Influence of drying conditions on the processing quality of rough rice. Drying Technology, 3&4 (15): 1141-1157.
5. Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C.W. 1992. Drying and Storage of Grain and Oilseeds. New York: Van Nostrand Reinhold.
6. Chen, H. Siebenmorgen, T.J. and Marks, B.P. 1997. Relating drying rate constant to reduction of long-grain head-rice yield. Transactions of the ASAE, 40(4): 1132-1139.
7. Cubillos, F. and Reyes, A. 2003. Drying of Carrots in a fluidized bed. II. Design 8. 21(7): 1185-1196.
9. Demuth, H. and Beale, M. 2003. Neural Network Toolbox for Matlab- Users Guide Version 4.1. Natick: The Mathworks Inc.
10. DiMattia, D.G., Amyotte, P.R. and Hamdullahpur, F. 1996. Fluidized bed drying of large particles. Transactions of the ASAE, 39(5): 1745-1750.
11. 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.



12. Elman J L, 1990. Finding structure in time. *Cognitive Sciences* 14:179-211.
13. Erenturk, K., Erenturk, S. and Tabil, L.G. 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.
14. 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.
15. Giner, S.A. and DeMichelis, A. 1988. Evaluation of the thermal efficiency of wheat drying in fluidized bed: Influence of air temperature and heat recovery. *Journal of Agricultural Research*, 41: 11-23
16. Heristev, R.M. 1998. *The ANN Book*. GNU Public License. USA.
17. Islam, M.R. Sablani, S.S. and Mujumdar, A.S. 2003. An artificial neural network model for prediction of drying rates. *Drying Technology*, 21(9): 1867-1884.
18. Jaros, M. and Pabis, S. 2006. Theoretical models for fluidized bed drying of cut vegetables. *Biosystems Engineering*, 93(1): 45-55.
19. Martynenko, A.I. and Yang, S.X. 2006. Biologically inspired neural computation for ginseng drying rate. *Bisystems Engineering*, 95(3): 385-396.
20. Mc Cabe, L.W., Smith, J. C. and Harriot, P. 1988. *Unit Operation of Chemical Engineering*. New York: Mc Grow Hill Book Company. USA.
21. 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.
22. 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.
23. Prasad, B.V.S., Chandra. P.K. and Bal, S. 1994. Drying parboiled rough rice in stationary, semi-fluidized and fluidized conditions. *Transactions of the ASAE*, 37(2): 589-594.
24. Soponronnarit, S. 1999 . Fluidized bed paddy drying. *Science Asia*, 25:51-56.
25. Sun, Z.H. and Siebenmorgen, T. 1993. Milling characteristics of various rough rice kernel thickness fractions. *Cereal Chemistry*, 70(6): 727-733.
26. Temple, S.J., Tambala, S.T. and Van Baxtel, A.J.B. 2000. Monitoring and control of fluid bed drying of tea. *Control Engineering Practice*, 8:165-173.
27. Teter, N. 1987. *Paddy Drying Manual*. Rome: Food and Nutrition Series (FAO). Italy.
28. Zhang, Q., Yang, S.X., Mittal. G.S. and Yi, S. 2002. Prediction of performance indices and optimal parameters of rough rice drying using neural network. *Biosystems Engineering*, 83(3): 281-290.