

پیش بینی محتوای رطوبتی پسته رقم اکبری با شبکه عصبی مصنوعی

احمد بهارلوئی^۱، محمود امید^۲، حجت احمدی^۳ و شاهین رفیعی^۴

چکیده

به منظور پیش بینی محتوای رطوبتی پسته رقم اکبری به کمک شبکه عصبی مصنوعی، آزمایشاتی در پنج سطح دمایی از ۴۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد، چهار سرعت جریان هوای ورودی بین ۰/۵ تا ۲ متر بر ثانیه و در سه تکرار در یک خشک کن لایه نازک انجام شد. رطوبت اولیه پسته در آغاز آزمایش‌ها ۳۰ درصد بر پایه خشک بود. پس از انجام آزمایش‌ها داده‌ها به محیط شبکه عصبی مصنوعی منتقل شدند. به منظور توسعه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ابتدا داده‌ها به سه بخش آموزشی (۷۰٪)، اعتبارسنجی (۱۰٪) و آزمون (۲۰٪) مدل‌ها تقسیم شدند. شبکه‌ها با ساختار پرسپترون چند لایه به صورت دو، سه و چهار لایه آموزش داده شدند. معیار انتخاب بهترین شبکه بیشترین ضریب تبیین و کمترین مقدار متوسط مربع خطا (MSE) بود. در پیش بینی نسبت رطوبت پسته رقم اکبری شبکه سه لایه با ساختار ۳-۸-۵-۱ بهترین نتیجه را داد. این شبکه در لایه پنهان اول ۸ نرون و در لایه پنهان دوم ۵ نرون دارد. مقادیر ضریب تبیین و MSE آن به ترتیب ۰/۹۹۸۹ و $4.2e^{-6}$ می باشد. از نتایج تحقیق می توان در طراحی خشک کن‌های صنعتی بهره گرفت.

واژگان کلیدی: پسته رقم اکبری، خشک کن لایه نازک، محتوای رطوبتی، شبکه عصبی مصنوعی. مدل‌سازی

مقدمه

در کشور ما پسته به عنوان یک کالای استراتژیک تلقی می‌شود و حفظ موقعیت آن در بازارهای جهانی به توسعه کمی و کیفی تولید، فرآوری و صادرات این محصول بستگی دارد. طبق گزارش سازمان جهانی خواربار و کشاورزی، ایران در سال ۱۳۸۳ با ۶۷/۱٪ سطح زیر کشت

پسته در جهان مقام اول را داشته و ترکیه و آمریکا به ترتیب با ۸/۵٪ و ۸/۴٪ سطح زیر کشت جهانی مقام‌های دوم و سوم را به خود اختصاص داده اند (www.fao.org). با اینحال از نظر عملکرد، پسته ایران بعد از کشورهای آمریکا، اردن، سوریه و ترکیه یعنی در جایگاه پنجم است. عملکرد پسته در آمریکا تقریباً ۶/۵ برابر عملکرد پسته در ایران است. صادرات پسته کشور در سال ۱۳۸۳ معادل ۱۳۸ هزار تن بوده است. ارزش حاصل از صادرات این مقدار پسته در حدود ۵۵۵/۴۵۶ میلیون دلار می‌باشد [۲].

یکی از مهمترین مراحل فرآوری پس از برداشت پسته، خشک کردن آن می‌باشد. خشک کردن پسته بطور سنتی در مقابل آفتاب صورت می‌گیرد ولی در سالهای اخیر اکثر

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی

۲- دانشیار دانشکده مهندسی بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

دانشگاه تهران Email: omid@ut.ac.ir

۳- استادیار دانشکده مهندسی بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

دانشگاه تهران

۴- دانشیار دانشکده مهندسی بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

دانشگاه تهران

محصول پسته را با استفاده از خشک کن های صنعتی و سوخته‌های فسیلی در دمایی بین ۴۵ تا ۸۰ درجه سانتی گراد خشک می‌نمایند. فرایند خشک شدن بایستی به آرامی و بصورت کاملاً یکنواخت انجام شود، لذا استفاده از خشک کن‌هایی که شرایط فرایند خشک شدن در آنها قابل مهار باشد امری ضروری به نظر می‌رسد. طی عملیات خشک کردن بایستی رطوبت اولیه پسته از حدود ۵۵ درصد به ۴ تا ۶ درصد بر پایه خشک برسد تا محصول قابلیت انبارمانی مناسب را بدست آورد و از فعالیت های میکروبی، فساد، کپک زدگی و سایر واکنش های زوال دهنده جلوگیری گردد. بطور کلی برای مدل کردن پدیده‌های فیزیکی نظیر نسبت رطوبت محصولات کشاورزی دو رهیافت وجود دارد، یک روش استنتاجی است، یعنی با استفاده از نظریه‌ها و فرمولهای ریاضی نظیر قانون دوم فیک یا نوع ساده شده آن موسوم به قانون سرد شدن نیوتن رطوبت محصول مدل می‌شود به عبارتی به صورت غیرمستقیم با استفاده از روابط و ضرایب ثابت مدلسازی انجام می‌شود [۴]. به عنوان مثال استفاده از مدل‌های خشک کردن محصولات کشاورزی مانند مدل نیوتن، پیچ، دو جمله‌ای، تقریب پخش و غیره که هر کدام دارای ثوابت و ضرایب خاص خود می‌باشند. این رهیافت نسبتاً ساده است اما همواره با تقریب همراه بوده و از دقت پایینی برخوردار است. رهیافت دوم در مدل کردن پدیده‌های فیزیکی استفاده از روشهای استقرایی است. در این روش مدلسازی به صورت مستقیم انجام می‌شود بدون اینکه از رابطه یا فرمولی در مدلسازی استفاده شود. مدلسازی رطوبت توسط شبکه عصبی مصنوعی (ANN) جزء روشهای استقرایی (مستقیم) می‌باشد چون ما بدون استفاده از رابطه یا فرمولی فرآیند را مدلسازی می‌کنیم. از مزایای این روش کشف روابط نهفته و اغلب غیر خطی بین متغیرهای وابسته و مستقل فرآیند تحت بررسی و قابلیت تعمیم آن است. تاکنون محققین زیادی از ANNs برای پیش‌بینی پارامترهای

مورد نظر در خشک کن‌ها استفاده کرده‌اند. زانگ و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۰۲ برای پیش‌بینی رطوبت نهایی محصول، آهنگ خشک شدن و شاخص‌های انرژی مصرفی در فرایند خشک کردن شلتوک از ANN استفاده کردند. بردار ورودی شامل چهار پارامتر ضخامت لایه، دبی هوای گرم، دمای هوای خشک کن و زمان خشک شدن بود. اسلام و همکاران [۷] در سال ۲۰۰۳ سرعت خشک شدن لایه‌های نازک سیب زمینی در خشک کن را توسط ANN پیشگویی کردند. هدف از این تحقیق توسعه مدل ANN برای خشک کردن ورقه‌های نازک سیب زمینی تحت شرایط سرعت‌های مختلف جریان هوای گرم، دماهای مختلف و رطوبت‌های مختلف در مدل پخش مایع یک بعدی بود. مدل پخش مایع برای تولید داده در ضخامت‌های مختلف ورقه‌های نازک سیب زمینی در شرایط مختلف سرعت هوا، دما و رطوبت بکار گرفته شد. داده‌ها برای پیشگویی سریع سرعت خشک شدن در ANN بکار گرفته شدند. مدل تولید شده در ANN در محدوده‌ی پارامترهای تحقیق شده دقت مناسب را در تعیین سرعت خشک شدن داشت. ارتورک و ارتورک [۶] در سال ۲۰۰۵ الگوریتم ژنتیک و ANN در فرآیند خشک شدن لایه‌های نازک هویج را مقایسه کردند. آنها هویج را در دما و سرعت‌های مختلف و سه ضخامت (۵، ۷/۵ و ۱۰ میلی‌متر) در یک خشک کن لایه نازک خشک کردند. سپس داده‌ها در محیط ANN فراخوانده شدند. در این تحقیق خشک شدن لایه نازک هویج در مقیاس آزمایشگاهی بررسی شد و یک مقایسه‌ی تطبیقی بین تحلیل‌های رگرسیونی و ANN در فرآیند خشک شدن دینامیکی لایه‌های هویج صورت گرفت. از بین چهار مدل ریاضی خشک شدن مدل پیچ اصلاح شده مناسب‌ترین مدل برای تخمین خشک شدن هویج بود زیرا در الگوریتم ژنتیکی بکار گرفته شده، r و R^2 بالا و MSE حداقل در مدل پیچ اصلاح شده حاصل شد. سپس این مدل با ANN

سانتریفوژ (۴)، برای دمیدن هوا، چهار عدد گرمکن الکتریکی (۵)، برای گرم کردن هوای ورودی به محفظه خشک کن، سه عدد حسگر برای اندازه‌گیری دما (۸)، اندازه‌گیری رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده (۹) و اندازه‌گیری سرعت هوا (۱۰)، یک ترازوی دیجیتالی (۳)، برای اندازه‌گیری وزن توده محصول، یک محفظه مستقیم‌کننده (۶) و دو عدد سینی مشبک (۷)، برای قرار دادن نمونه‌ها استفاده شد. جزئیات کامل خشک کن استفاده شده در مراجع ۳ و ۹ موجود است.

برای آماده کردن خشک کن، پس از روشن کردن رایانه، فن، ترازو، المنت‌ها و سرعت فن برای آزمایش مورد نظر تنظیم و دمای مورد نظر برای آزمایش در نرم افزار تنظیم گردید. برای رسیدن شرایط سیستم به حالت پایدار کلیه آزمایشات نیم ساعت بعد از روشن کردن سیستم شروع می‌شد. سپس سینی حاوی نمونه‌ها در محفظه خشک کن قرار می‌گرفت. وزن نمونه‌ها در فواصل زمانی ۵ ثانیه توسط یک ترازو اندازه‌گیری می‌شد و با استفاده از رابطه (۱) رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه بدست آمد:

$$M_d = \frac{W_w - W_d}{W_d} \quad (1)$$

که در آن M_d میزان رطوبت بر پایه خشک (درصد)، W_w وزن پسته‌تر و W_d وزن پسته خشک است. خشک شدن تا زمانی که نسبت رطوبت به ۵ درصد (تقریباً ثابت) برسد ادامه می‌یافت.

برای مدل‌سازی ریاضی خشک شدن توده بستر نازک پسته از نسبت رطوبت در طی خشک شدن توده استفاده می‌گردد. نسبت رطوبت با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت توده در هر لحظه در طی خشک شدن از رابطه (۲) محاسبه شد:

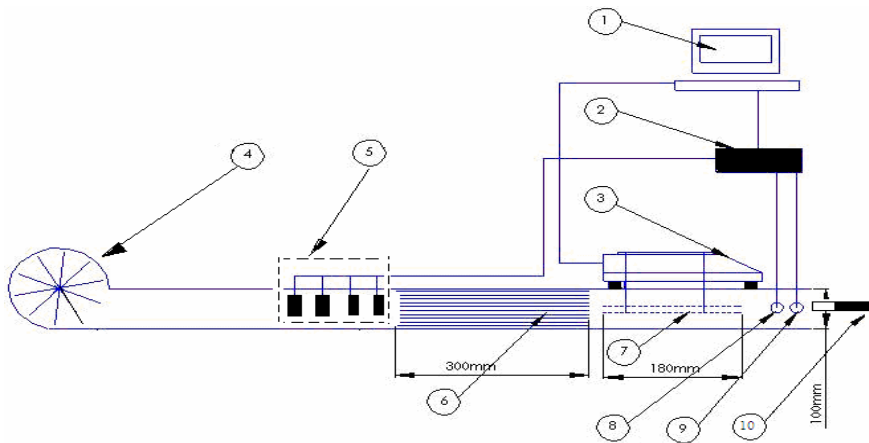
$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \quad (2)$$

مقایسه شد مشاهده شد که ANN از دقتی در حدود ۰/۰۵ درصد بیشتر نسبت به مدل پیچ اصلاح شده دارد و همچنین ثابت شد مدل شبکه‌ی عصبی در تخمین خشک شدن دینامیکی آزمایشگاهی بسیار موفق عمل می‌کرد. علاوه بر موارد فوق، زیسینسکی و همکاران [۱۳] در سال ۱۹۹۶ برای مدل‌سازی فرایند تبخیر رطوبت در یک خشک‌کن بستر سیال، زیسینسکی و سیلسکی [۱۴] در سال ۲۰۰۰ برای پیش‌بینی ضریب انتقال حرارت مواد مختلف، میتال و زانگ [۸] در سال ۲۰۰۰ برای تخمین رطوبت و دما در فرایند حرارتی، برویارت و تریسترام [۴] در سال ۲۰۰۳ برای مدل‌سازی پدیده انتقال حرارت و جرم و بررسی روند تغییرات کیفی در فرآوری بیسکویت، هراندز و همکاران [۵] در سال ۲۰۰۴ برای پیشگویی انتقال حرارت و جرم در فرایند خشک شدن نشاسته و انبه، پونوی و همکاران [۱۱] - [۱۲] در سالهای ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ برای پیشگویی نسبت رطوبتی قارچ و پیشگویی دما و ظرفیت رطوبتی ورقه‌های نازک گوجه فرنگی در خشک کن میکروویو - خلائی نیز از ANN برای مدل‌سازی استفاده کرده‌اند.

با توجه به مطالب فوق، اهداف این تحقیق عبارتند از بررسی روند تغییرات نسبت رطوبت پسته در طی خشک شدن و پیش‌بینی نسبت رطوبت و آهنگ خشک شدن پسته رقم اکبری با ANNs. در ادامه نتایج مربوط به پیش‌بینی نسبت رطوبت پسته بکمک شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده است و سایر نتایج در پایان نامه کارشناسی ارشد [۱] موجود است.

مواد و روشها

الف) خشک کن لایه نازک - طر حواره و اجزای خشک کن لایه نازک برای انجام آزمایشات، در شکل ۱ نشان داده شده است [۳ و ۹]. این خشک کن از یک رایانه (۱)، برای جمع آوری داده و غیره، مدار کنترل اصلی (۲)، یک فن



شکل ۱: طرحواره و اجزای خشک کن لایه نازک مورد استفاده در انجام آزمایشات

خشک کن لایه نازک فوق انجام شد. رطوبت اولیه پسته‌ها برای شروع تمامی آزمایش‌ها ۳۰٪ (بر پایه خشک) در نظر گرفته شد. تحقیق حاضر در گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، در سال تحصیلی ۱۳۸۵ - ۱۳۸۶ انجام گرفت.

ب) مدلسازی محتوای رطوبتی توده بستر نازک پسته - شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه پیشخور راه حل مناسبی برای مدل سازی محسوب می‌شود و در مدل سازی فرایند خشک شدن محصولات کشاورزی به وفور استفاده شده است. اخیراً امید و همکاران [۱۰] از این تکنیک برای درجه بندی ارقام پسته (اکبری، کله قوچی، احمد آقایی و فندق) استفاده کردند. در این تحقیق نیز از شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) با روش یادگیری پس انتشار خطا استفاده شد. این شبکه‌ها عموماً به الگوریتم پس انتشار خطا مشهورند زیرا خطای خروجی مدل به عقب و به داخل سیستم برگردانده می‌شود تا تجدید و تنظیم وزن‌های لایه‌های پنهان انجام گیرد. در این حالت با تصحیح پیوسته خطا وزن‌های مناسب برای سیستم به دست می‌آید. این شبکه‌ها دو مزیت عمده نسبت به سایر شبکه‌ها دارند: (۱) آنها از عناصر پردازشی غیرخطی (توابع سیگموئیدی و یا تانژانت هایپربولیک) استفاده می‌کنند و (۲) حجم زیادی از اتصالات در داخل شبکه است (هر نرون با کلیه نرون‌های لایه

که در آن نسبت رطوبت، M رطوبت توده در لحظه جاری، M_e رطوبت تعادلی و M رطوبت اولیه توده محصول است. طبق استاندارد ASAE رطوبت تعادلی پسته ۷ درصد در نظر گرفته شده است. برای بدست آوردن مدل سینتیک خشک شدن پسته رقم اکبری، تغییرات محتوای رطوبت (MC) در طی آزمایش‌ها به کمک شبکه عصبی مصنوعی پیش بینی گردید. برای تعیین بهترین شبکه از دو معیار ضریب تبیین (R^2) و متوسط مربع خطای داده‌ها (رابطه ۳) استفاده شد [۱۰]:

$$MSE = \frac{\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N (D_{ij} - Y_{ij})^2}{NP} \quad (3)$$

که در آن Y_{ij} خروجی شبکه (خروجی واقعی) برای نمونه i ام در نرون j ام، D_{ij} خروجی مطلوب برای نمونه i ام در نرون j ام، P تعداد نرون‌های لایه خروجی و N تعداد نمونه‌ها در مجموعه آموزش می‌باشد.

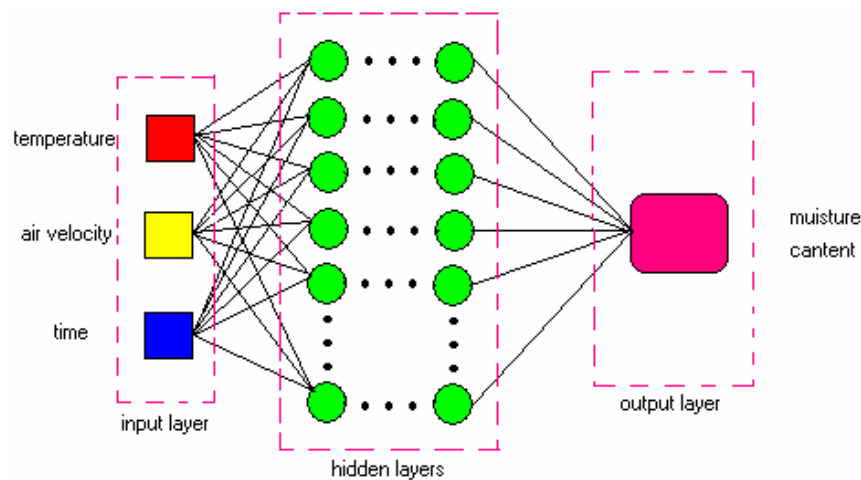
در این تحقیق از پسته رقم اکبری استفاده شد. این رقم یکی از ارقام مهم صادراتی می‌باشد و مهمترین دلیل آن بازار پسندی و یکنواختی و یک دست بودن شکل ظاهری آن است. آزمایش‌ها در پنج سطح دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد، چهار سرعت هوای ورودی ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه و در سه تکرار (جمعاً ۶۰ سری) در

$$M = f(T, V, t) \quad (4)$$

این توپولوژی در شکل ۲ نشان داده شده است. داده برداری توسط خشک کن [۳] نشان داده شده در شکل ۳ در هر ۵ ثانیه یکبار انجام می‌گردد بنابراین برای هر تیمار به طور متوسط ۴۵۰۰ داده داشتیم و در کل برای همه تیمارها در حدود ۹۰۰۰۰ داده بدست آمد، که با این تعداد داده حجم پردازش شبکه‌ها در نرم افزار بسیار بالا می‌شد. همچنین، چون فاصله زمانی داده‌ها کم بود (۵ ثانیه) و دقت ترازوی دیجیتالی خشک کن هم در حدود ۰/۰۱ گرم بود، میزان اختلاف بین دو داده متوالی بسیار ناچیز بود، لذا فاصله بین داده‌ها را ۳ دقیقه گرفتیم. بنابراین کل داده‌های ما برابر ۲۴۰۷ داده شد

برای توسعه مدلها ابتدا داده‌ها به سه زیر مجموعه تقسیم شدند: ۷۰ درصد برای آموزش و ۱۰ درصد برای اعتبارسنجی و ۲۰ درصد باقیمانده هم برای آزمایش شبکه در نظر گرفته شدند. داده‌ها با استفاده از نرم افزار NeuroSolutions نسخه ۵ مدل‌سازی شد. برای تعیین بهترین شبکه از دو معیار ضریب تبیین (R^2)، و MSE داده‌ها استفاده شد. انواع شبکه‌ها در نرم افزار آموزش داده شد، مقادیر MSE و R^2 حاصل شد که در بخش بعدی گزارش شده است.

بعد در ارتباط است). در حالی که سیستم آموزش کافی را دیده است و مناسب‌ترین وزن‌ها به دست آمدند وزنهای مربوطه تثبیت شده و جهت داده‌های ورودی جدید که در قالب داده‌های مربوط به آزمون کارآیی مدل است، اعمال می‌گردد و در این حالت با مقایسه نتایج مدل با نتایج مطلوب در مورد کارآیی مدل قضاوت می‌شود. معیارهایی که قبلاً برای توقف آموزش به کار گرفته می‌شد، عبارت بودند از تعداد چرخه‌ها و MSE داده‌های آموزشی. اما استفاده از داده‌های اعتبارسنجی نیز یک روش قدرتمندی است زیرا این معیار سبب توقف آموزش در نقطه تعمیم بهینه و باعث کاهش خطاهای آزمایشی شده و از آموزش بیش از حد و حفظ کردن داده‌های آموزشی (overtraining) جلوگیری به عمل می‌آورد. باید آموزش زمانی که عمل کرد در داده‌های آزمایشی شروع به کاهش می‌کند، متوقف گردد. در تحقیق حاضر زمانی که یا تعداد تکرار یا MSE داده‌های آزمایشی به مقدار از پیش تعیین شده رسیدند، آموزش متوقف شد. مقدار MSE داده‌های آموزشی، سپس، برای ارزیابی عملکرد شبکه به کار برده شدند. مدلی که در شبکه عصبی در نظر گرفته شد شامل سه ورودی و یک خروجی بود (رابطه ۴). ورودیها عبارت بودند از زمان (t)، دما (T) و سرعت جریان هوای (V) داخل خشک کن و خروجی نسبت رطوبت توده پسته (M) بود:



شکل ۲: ساختار شماییک شبکه‌های عصبی مصنوعی طراحی شده



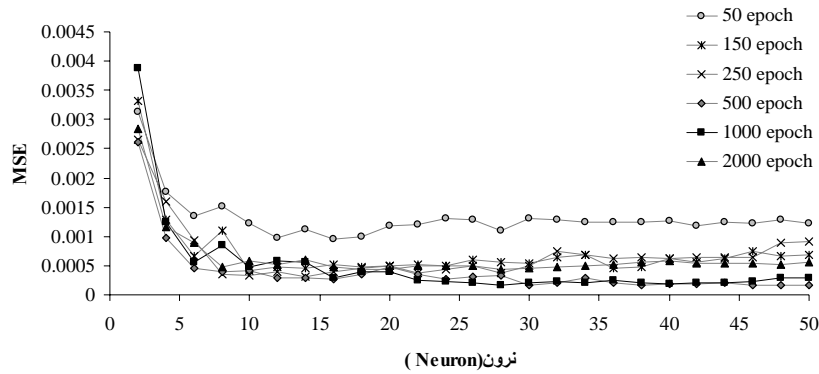
شکل ۳: عکسی از دستگاه خشک‌کن در حال داده برداری

بحث و نتیجه گیری

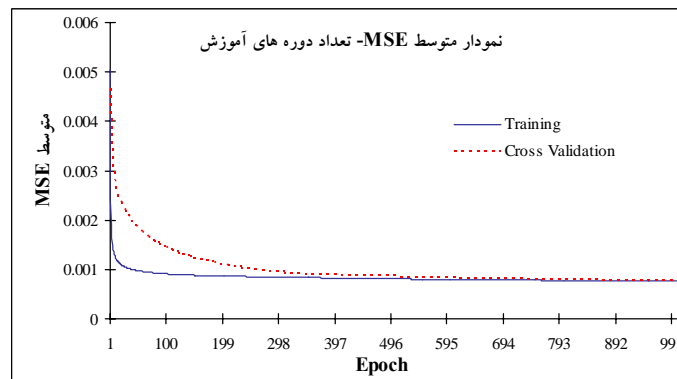
- برای مدل‌سازی نسبت رطوبت توده پسته، شبکه‌ها به صورت دو، سه و چهار لایه طراحی و آموزش داده شدند. تمام شبکه‌های طراحی شده دارای مشخصات زیر بودند:
 - شبکه‌ها دارای سه ورودی دما (Temperature)، سرعت هوا (Air velocity) و زمان (Time) و یک خروجی که نسبت رطوبت پسته (Moisture Content) است بودند.
 - توابع فعالیت در لایه‌های مخفی برای تمام شبکه‌ها از نوع سیگموئید و در لایه خروجی خطی (با توجه به ماهیت مسئله) در نظر گرفته شد.
 - برای آموزش شبکه‌ها از پرسپترون چندلایه با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا همراه با مومنتم استفاده گردید که در آن ضریب مومنتم برای تمام شبکه‌ها ۰/۷ و نرخ یادگیری ۰/۱ در گرفته شد.
- نحوه آموزش شبکه‌ها به قرار زیر بود: برای بدست

آوردن تعداد چرخه‌های (Epochs) آموزش مناسب یک شبکه آزمایشی دو لایه با تعداد نرون‌های لایه پنهان متغیر (از ۲ تا ۵۰ نرون) با تعداد چرخه‌های ۵۰، ۱۵۰، ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ آموزش داده شد و نمودار تغییرات MSE آن نسبت به تعداد نرون لایه پنهان رسم شد. شکل ۴ میزان دقت شبکه را در چرخه‌های مختلف نشان می‌دهد. نتایج حاصله از شکل ۴ حاکی است که تعداد چرخه‌های آموزش ۱۰۰۰ بهترین دقت را دارد و همچنین از آموزش بیش از حد شبکه نیز جلوگیری به عمل می‌آید. انتخاب حدوداً ۲۰ نرون در لایه پنهان برای تعداد چرخه‌های بیشتر از ۱۵۰ جواب پایداری تولید می‌کند. چون میزان دقت شبکه‌های طراحی شده بالا است ما برای سایر شبکه‌ها نیز همین میزان چرخه آموزش را در نظر گرفتیم. در شکل ۵ متوسط خطای آموزش و اعتبارسنجی را با افزایش تعداد چرخه‌های آموزش برای شبکه ای با توپولوژی ۱-۲۵-۳ را مشاهده می‌کنید.

نمودار (تعداد نرون-MSE)



شکل ۴: نمودار میزان خطای شبکه در مقابل تعداد نرونهای لایه پنهان برای تعداد چرخه‌های آموزشی مختلف



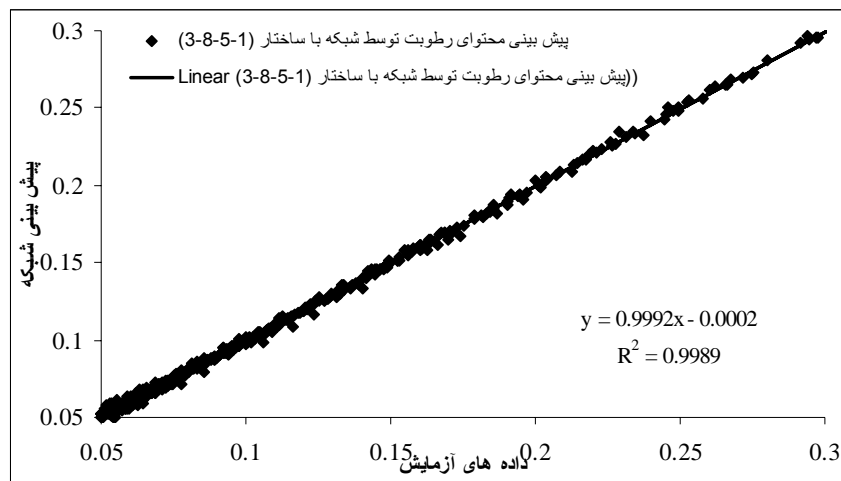
شکل ۵: میزان خطای آموزش و اعتبار سنجی با افزایش دوره ی یادگیری

توپولوژی ۱-۵-۸-۳ مقادیر R^2 و MSE به ترتیب 0.9989 و $4.201E-06$ حاصل گردید. در نهایت برای شبکه‌های چهار لایه، توپولوژی ۱-۴-۴-۳ با مقادیر R^2 و MSE به ترتیب 0.9954 و $2.19E-05$ حاصل گردید. برای درک بهتر از عملکرد شبکه نمودار خروجی شبکه در مقابل داده‌های آزمایشگاهی و نیز نمودار تغییرات نسبت رطوبت نسبت به زمان در تیمارهای مختلف در نمودارهای شکل‌های ۶ تا ۱۰ نشان داده شده است. در شکل ۶ مقایسه داده‌های آزمایشی و پیشگویی بهترین شبکه آموزش داده شده (توپولوژی ۱-۵-۸-۳) با $R^2 = 0.9989$ نشان داده شده است.

نتایج عملکرد شبکه برای آرایشهای مختلف در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که در جدول ۱ نیز مشخص شده است از بین شبکه‌های دو لایه، توپولوژی ۱-۲۵-۳، یعنی شبکه‌ای با ۳ ورودی، ۲۵ عنصر پردازشی (نرون) در لایه پنهان و یک خروجی، بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی توده بستر نازک پسته رقم اکبری داد. برای این توپولوژی مقادیر ضریب تبیین (R^2) و MSE به ترتیب 0.9986 و $6.49E-06$ حاصل گردید. بطور مشابه، برای شبکه‌های سه لایه، توپولوژی ۱-۵-۸-۳، یعنی شبکه‌ای با ۳ ورودی، ۸ نرون در لایه پنهان اول و ۵ نرون در لایه پنهان دوم یک خروجی، بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی توده بستر نازک پسته رقم اکبری داد. برای

جدول ۱: عملکرد شبکه در پیش بینی محتوای رطوبتی پسته برای آرایش‌های مختلف در لایه پنهان

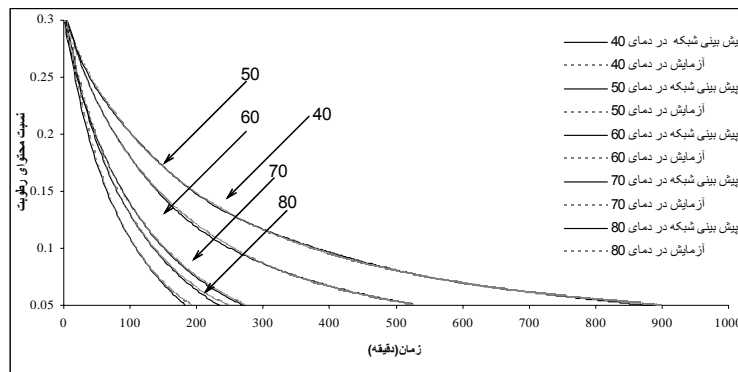
توپولوژی	MSE	R ²	توپولوژی	MSE	R ²
3-16-1	1.22E-05	0.9974	3-5-5-1	1.15E-05	0.9972
3-17-1	5.27E-05	0.9897	3-6-2-1	2.9E-05	0.9955
3-18-1	3.43E-05	0.9976	3-6-3-1	2.22E-05	0.9972
3-19-1	1.79E-05	0.9968	3-6-4-1	2.02E-05	0.9973
3-20-1	1.1E-05	0.9971	3-6-5-1	1.43E-05	0.9965
3-21-1	1.23E-05	0.9974	3-6-6-1	1.05E-05	0.9977
3-22-1	7.67E-06	0.998	3-7-2-1	1.09E-05	0.9975
3-23-1	2.2E-05	0.9962	3-7-3-1	7.76E-06	0.998
3-24-1	9.53E-06	0.9979	3-7-4-1	1.24E-05	0.9969
3-25-1	6.49E-06	0.9986	3-7-5-1	1.07E-05	0.9974
3-26-1	1.65E-05	0.9972	3-7-6-1	6.77E-06	0.9986
3-27-1	1.12E-05	0.9974	3-7-7-1	9.37E-06	0.9977
3-28-1	9.37E-06	0.9985	3-8-2-1	1.54E-05	0.9969
3-29-1	1.07E-05	0.9976	3-8-3-1	1.59E-05	0.9961
3-30-1	1.79E-05	0.9982	3-8-4-1	1.02E-05	0.9975
3-2-2-1	8.22E-04	0.9764	3-8-5-1	4.201E-06	0.9989
3-3-2-1	4.51E-05	0.9896	3-8-6-1	1.07E-05	0.9983
3-3-3-1	5.19E-05	0.9895	3-8-7-1	7.82E-06	0.9981
3-4-2-1	2.84E-05	0.9931	3-8-8-1	1.19E-05	0.9972
3-4-3-1	2.45E-05	0.995	3-4-3-2-1	2.23E-05	0.9945
3-4-4-1	3.64E-05	0.9906	3-4-3-3-1	2.61E-05	0.994
3-5-2-1	2.82E-05	0.9951	3-4-4-2-1	2.68E-05	0.9937
3-5-3-1	2.01E-05	0.9951	3-4-4-3-1	2.84E-05	0.9936
3-5-4-1	1.52E-05	0.9966	3-4-4-4-1	2.19E-05	0.9954



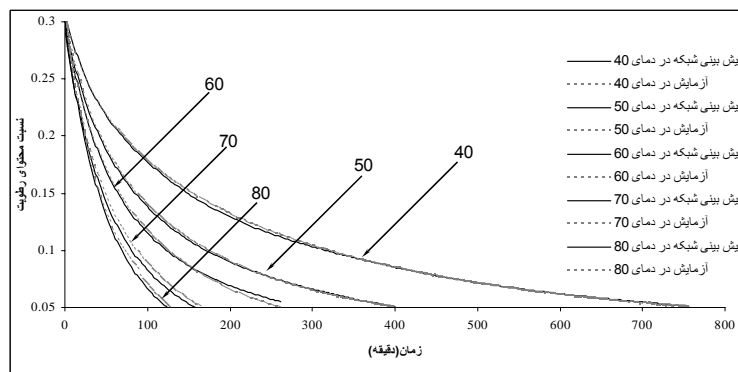
شکل ۶: میزان دقت پیش بینی محتوای رطوبت توسط بهترین شبکه آموزش داده شده

دو لایه با توپولوژی ۱-۵-۸-۳ در سرعت‌های مختلف (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه) برای دمای هوای خشک کن ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در شکل‌های ۸ الف و ب نشان داده شده است. نتایج مربوط به سایر دماها در [۱] موجود است.

مقایسه نتایج حاصل از آزمایش و شبکه عصبی دو لایه با توپولوژی ۱-۵-۸-۳ در دماهای مختلف (۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد) برای سرعت هوای خشک کن ۰/۵ و ۱/۵ متر بر ثانیه به ترتیب در شکل‌های ۷ الف و ب نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاصل از آزمایش و شبکه عصبی



(الف)



(ب)

شکل ۷: مقایسه منحنی خشک شدن بر اساس داده‌های آزمایشگاهی و مدل پیش‌بینی شده توسط شبکه دو لایه در دماهای مختلف: (الف) سرعت ۰/۵ و (ب) سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه

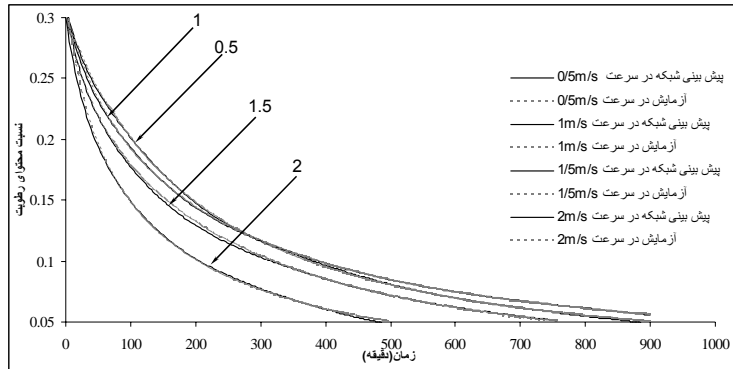
مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه ارائه شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش دمای خشک کردن باعث افزایش سرعت خشک کردن می‌شود. ضمناً با افزایش سرعت هوای ورودی به خشک کن سرعت خشک شدن افزایش می‌یابد. در پیش‌بینی محتوای رطوبتی شبکه سه لایه با توپولوژی ۱-۵-۸-۳ بهترین نتیجه را داد. برای این آرایش مقدار $R^2 = 0.9989$ و میزان MSE آن $4.2E-6$

جمع بندی و پیشنهادات

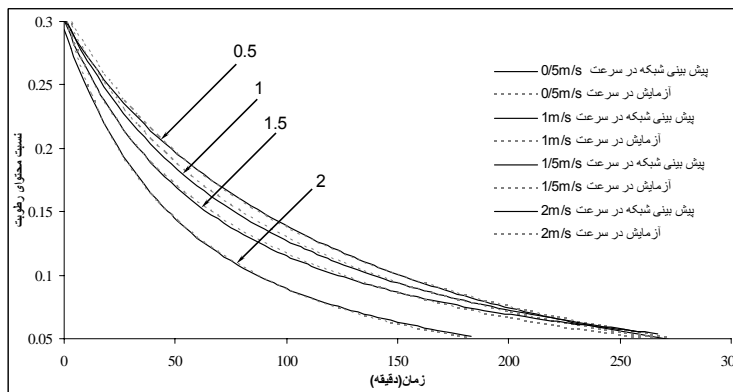
استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، روش جدیدی در حل بسیاری از مسائل مهندسی می‌باشد. این روش مبتنی بر یافتن روابط ذاتی میان پارامترهای مختلف مؤثر بر هر مسئله، یادگیری آن و سپس تعمیم به نمونه‌های مشابه می‌باشد. در این تحقیق روند تغییرات محتوای رطوبتی پسته رقم اکبری در طی خشک شدن و پیش‌بینی آن توسط شبکه عصبی

چند متغیره عمل می‌کنند. پیشنهاد می‌گردد در بررسی‌های آتی از سایر مدل‌های شبکه عصبی نیز استفاده شود و ضمناً نتایج با مدل‌های تجری مقایسه شود.

می‌باشد. همچنین در تحقیقی دیگر آهنگ خشک شدن پسته رقم اکبری توسط شبکه عصبی مدلسازی شد که نتایج آن در [۱] آمده است. مدل‌های شبکه عصبی ارائه شده در اینجا برای همه دماها و سرعتها معتبر بوده و در حکم رگرسیون



(الف)



(ب)

شکل ۸: مقایسه منحنی خشک شدن بر اساس داده‌های آزمایشگاهی و مدل پیش بینی شده توسط شبکه دو لایه در سرعت‌های مختلف: (الف) در دمای ۴۰ و (ب) دمای ۶۰ درجه سانتی گراد

مراجع

- بهارلوئی، احمد. (۱۳۸۶). پایان نامه کارشناسی ارشد، بررسی فرآیند خشک شدن پسته رقم اکبری در خشک کن لایه نازک و ارائه الگوریتم ریاضی آن بکمک شبکه عصبی مصنوعی، دانشکده بیوسیستم دانشگاه تهران، گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی.
- بی نام، (۱۳۸۴). دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی: <http://213.176.84.4/baghat>
- یداللهی نیا، ع. (۱۳۸۵). استخراج مدل خشک شدن شلتوک در خشک کن لایه نازک. پایان نامه کارشناسی ارشد، مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران.

4. Broyart, B and. G. Trystram. (2003). Modeling of heat and mass transfer phenomena and quality changes during continuous biscuit baking using both deductive and inductive (neural network) modeling principles. Institution of Chemical Eng. Trans, IChemE, Vol 81, Pt. C.
5. Hernandez-Perez, J.A, M.A. Garcia-Alvarado, G. Trystram and B. Heyd. (2004). Neural networks for the heat and mass transfer prediction during drying of cassava and mango. J. of Innovative Food Sci. and Emerging Technologies. Vol 5, 57–64.
6. Erenturk, S. and K. Erenturk. (2007). Comparison of genetic algorithm and neural Network approaches for the drying process of carrot. J. of Food Eng. Vol 78, 905–912
7. Islam, M.R, S.S. Sablani and A.S. Mujumdar. (2003). Prediction of drying rates using artificial neural networks. ADC'03, pp. 447-455.
8. Mittal, G.S. and J. Zhang. (2000). Prediction of temperature and moisture content of frankfurters during thermal processing using neural network, Meat Sci., Vol. 55 (1), 13-24.
9. Omid, M., A.R. Yadollahinia and S. Rafiee. (2006). A thin layer drying model for paddy dryer, Int'l Conf. on FEBT, Bangkok: Thailand. 12-14 Dec. 2006, 6 Pages.
10. Omid, M., A. Mahmoudi., A. Aghagolzadeh. and A.M. Borghae., 2007. Separating pistachio varieties using automatic trainable classifier, ICAS'2007, Athens: Greece, June 19-25, 2007.
11. Poonnoy, P., A. Tansakul and M. Chinnan. (2006). Estimation of Moisture Ratio of a Mushroom Undergoing Microwave-Vacuum Drying Using Artificial Neural Network and Regression Models. Proceedings of the international conference on Innovations in Food and Bioprocess Technologies, 12-14 December 2006, AIT, Pathumthani, Thailand, Pp. 477-491
12. Poonnoy, P., A. Tansakul and M. Chinnan. (2007). Artificial Neural Network Modeling for Temperature and Moisture Content Prediction in Tomato Slices undergoing Microwave-vacuum Drying, J Food Sci (In press).
13. Zbicinski, I., P. Strumillo and W. Kaminski. (1996). Hybrid neural model of thermal drying in a fluidized bed. Comp. in Chemical Eng. Vol 20, 695-700.
14. Zbicinski, I. and K. Ciesislki. (2000). Extension of the neural networks operating range by the application of dimensionless numbers in prediction of heat transfer coefficients. Drying Technology. Vol 18(3), 649-660.
15. Zhang, O., S.X. Yang., G.S. Mittal. and S. Yi. (2002). Prediction of performance indices and optimal parameters of rough rice drying using neural network. Biosystems Eng. Vol 83(3), 281-290.

Predicting Moisture Content of Pistachio Nuts (Akbari Variety) with Artificial Neural Network

Abstract

In order to predict moisture content of pistachio nuts (Akbari variety) using artificial neural network (ANN) method, experiments were performed at five drying air temperatures (ranging 40 to 80 °C) and four input air flow velocities (ranging from 0.5 to 2 m/s) with three replicates in a thin layer dryer. Initial moisture content all experiments was held at about 30 % d.b. The data obtained from the experiments were transferred to artificial neural network medium. In order to develop neural network firstly experimental data were randomly divided into three sets of training (70%), validating (10%) and testing model (20%). In order to develop ANN models, we used multilayer perceptron with back-propagation with momentum algorithm. MLP models trained as two, three and four layers. The highest coefficient of determination (R^2) and lowest mean squared error (MSE) were considered as the criterion for selecting the best network. The network having three layers with a topology of 3-8-5-1 had the best results in predicting the moisture content of pistachio nuts. This network has two hidden layers with 8 neurons in the first hidden layer and 5 neurons in the second hidden layer. For this network, R^2 and MSE were 0.9989 and 4.2E-6, respectively. The methodology and results of this research can used/adapted for the design industrial dryer.

Keywords: Pistachio; Moisture content; Thin layer dryer; Artificial neural network; modeling