



شبیه‌سازی مدل سینتیک خشک‌شدن بستر نازک ترنج با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

محمد شریفی^۱، شاهین رفیعی^۲ و محمود امید^۲

۱ و ۲ - دانشجوی دکتری و دانشیاران گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

m.sharifi@ut.ac.ir

چکیده

مرکبات جایگاه بسیار مهمی را در میان تولیدات کشاورزی در دنیا به خود اختصاص داده‌اند. در این تحقیق خشک‌کردن بستر نازک ترنج به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی شد؛ برای این منظور از خشک‌کن آزمایشگاهی استفاده گردید. توده بستر نازک ورقه‌های ترنج با پنج دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس و دو سرعت هوای ۱ و ۲ متربرثانیه و ضخامت ۴ میلی‌متر خشک شد. رطوبت اولیه ترنج در طی آزمایش ۵/۲ تا ۵/۸ (g/g) بر پایه خشک بود. جرم توده بستر نازک در طی خشک‌کردن هر پنج ثانیه یکبار توسط ترازوی دیجیتال متصل به رایانه، اندازه‌گیری و ثبت گردید. از شبکه پس انتشار پیشخور با الگوریتم‌های یادگیری مونتوم و لونبرگ-مارکوارت برای آموزش الگوهای موجود استفاده شد. برای توسعه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بردار ورودی شامل دما، سرعت هوا و زمان خشک‌شدن و بردار خروجی محتوای رطوبتی ترنج در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که شبکه پس انتشار پیشخور با توپولوژی ۱-۶-۳ برای ضخامت ۴ میلی‌متری ورقه ترنج و الگوریتم آموزش لونبرگ-مارکوارت و راهبرد توابع یکسان برای تمام لایه‌ها (تانژانت سیگموئید) قادر است نسبت رطوبت را با ضریب تعیین ۰/۹۹۹۲۵ و خطای متوسط مطلق ۰/۰۰۰۱۱ در شرایط مختلف خشک‌کردن لایه نازک پیش‌بینی کند.

واژه‌های کلیدی: ترنج، خشک‌کردن لایه نازک، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم لونبرگ-مارکوارت

ایران سالانه ۳/۵ میلیون تن مرکبات تولید می‌کند که از این حیث رتبه‌ی ۲۲ را در بین سایر کشورهای جهان دارا می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۸۶). ترنج درخت کوچک و همیشه بهار از خانواده Rue می‌باشد. میوه‌های آن گلابی شکل است و از پوست میوه آن روغن ترنج گرفته می‌شود که در عطرسازی کاربرد دارد. پوست این میوه تلخ و معطر است که کاربرد دارویی و پزشکی دارد. نام درخت آن citrus bergamia بوده و نوعی میوه از خانواده نارنج است (مجتهدی، ۱۳۷۶).

محصول ترنج از پوست خارجی^۱ و پوست داخلی^۲ و مغز گوشتی بیضی شکل^۳ در وسط آن تشکیل شده است. پوسته خارجی این محصول که دارای ضخامت کمتری است سبز رنگ بوده و در مرحله رسیدگی کامل زرد رنگ می‌شود. پوسته داخلی محصول نیز در هر دو حالت چه زمانی که پوسته خارجی سبز و چه زمانی که زرد باشد، کاملاً سفید رنگ بوده و ضخامت آن چندین برابر پوسته خارجی است. مغز گوشتی این محصول خوراکی بوده و بسیار ترش است و می‌توان از آن به عنوان جانشینی مناسب برای آلبیمو یا درست کردن انواع ترشی استفاده کرد. ترنج معمولاً در باغ‌های جنوب ایران نظیر جهرم (در استان فارس) رشد می‌کند. این محصول را قبل از زرد شدن برداشت کرده و پوست آن را خشک می‌کنند و برای تهیه مربا استفاده می‌نمایند؛ این کار معمولاً در فصلی از سال که محصول تازه در دسترس نیست انجام می‌شود همچنین مقدار زیادی از محصول به صورت خشک به خارج از کشور صادر می‌گردد (شیبانی، ۱۳۷۷).

خشک کردن، فرآیند گرفتن رطوبت به کمک انتقال حرارت و رطوبت است (کاگوس، ۱۹۹۴) و یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی می‌باشد که به علت امکان تغییرات نامطلوب در کیفیت مواد غذایی در اثر خشک شدن، کنترل آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در نتیجه برای نگهداری مطمئن مواد غذایی لازم است آنها را به رطوبت مشخصی رسانند. برای دستیابی به این هدف باید خشک کردن محصولات مختلف کشاورزی را مدلسازی نمود تا بتوان بر اساس الگوی به دست آمده از مدل، روند خشک شدن محصول را پیش‌بینی کرد. شبکه‌های عصبی مصنوعی در واقع مدل ساده شده‌ای از مغز انسان بوده که یکی از ابزارهای پیش‌بینی پدیده‌های فیزیکی است و به‌طور کاربردی نخستین بار در دهه ۵۰ قرن بیستم مطرح شد، زمانی که فرانک روزنبلات در سال ۱۹۵۸ شبکه پرسپترون را معرفی نمود (منهاج، ۱۳۷۹).

کوچک‌ترین واحد شبکه عصبی مصنوعی، نرون است. هر شبکه از یک لایه ورودی و یک لایه خروجی و یک یا چند لایه میانی تشکیل شده است. نرون‌های هر لایه به‌وسیله نرون‌هایی به نرون‌های لایه بعدی متصل می‌شود. طی فرایند آموزش شبکه، این وزن‌ها و مقادیر ثابتی که با آنها جمع می‌شوند و اصطلاحاً بایاس^۴ نامیده می‌شوند، به طور پی‌درپی تغییر می‌کنند تا این‌که مجموع مربعات خطا به حداقل برسد. تغییرات وزن‌ها و بایاس براساس قانون یادگیری می‌باشد. به منظور انتقال خروجی‌های هر لایه به لایه‌های بعدی از توابع محرک استفاده می‌شود. از توابع

1 - flevedo
2 - albedo
3 - meat
4 . Bias

محرك معروف می توان توابع سیگموئیدی، خطی و آستانه‌ای را نام برد. داده‌ها برای ساخت شبکه عصبی مصنوعی به دو سری داده‌های آموزش و داده‌های آزمون تقسیم می‌شوند. در حدود هشتاد درصد داده‌ها صرف آموزش و مابقی برای آزمون و ارزیابی شبکه به کار گرفته می‌شود. در طی فرایند یادگیری، میزان فراگیری شبکه توسط معیارهای خطایی مرتباً سنجیده می‌شود و در نهایت شبکه‌ای مورد پذیرش قرار می‌گیرد که کمترین خطا را دارا باشد (کیشان و همکاران، ۱۹۹۶).

یکی از مهمترین کاربردهای شبکه عصبی مصنوعی آموزش و پیش‌بینی خروجی با داده‌های جدید می‌باشد (دیهاف، ۱۹۹۰). در شبکه پس انتشار پیشخور^۱ (FFBP) با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا^۲ (BP)، ابتدا وزن‌های لایه خروجی با مقادیر مطلوب مقایسه شده در صورتی که خطا بیش از حد تعیین شده باشد وزن‌های لایه‌های خروجی براساس قاعده‌های به‌هنگام‌سازی تعدیل می‌شود و هنگامی که خطای آموزش کمتر از خطای از پیش تعیین شده باشد فرایند یادگیری پایان می‌یابد. شبکه پس انتشار پیشرو^۳ (CFBP) نیز مانند شبکه پس انتشار پیشخور از الگوریتم BP برای اصلاح وزن‌ها استفاده می‌کند ولی خصوصیت اصلی شبکه مذکور این است که نرون‌های هر لایه به همه نرون‌های لایه‌های قبل متصل است (خانا، ۱۹۹۰). الگوریتم‌های آموزش به‌کار رفته برای به‌هنگام‌سازی وزن‌های شبکه‌ی مورد استفاده عبارتند از: الگوریتم مومنتوم^۴ و الگوریتم لونیبرگ-مارکواریت (LM)^۵. از آن‌جا که برای آموزش شبکه عصبی براساس الگوریتم LM محاسبات به صورت موازی انجام می‌شود، جزء سریع‌ترین روش‌ها برای آموزش شبکه عصبی پس انتشار با کمتر از صد اتصال وزنی محسوب می‌شود. الگوریتم LM اساساً بر مبنای ماتریس هسین^۶ است که برای بهینه‌سازی غیرخطی بر مبنای حداقل مربعات استفاده می‌شود (هاگان و منهاج، ۱۹۹۴).

محققین بسیاری از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی پارامترهای مورد نظر در خشک‌کن‌ها استفاده کرده‌اند. ارنترک و همکاران (۲۰۰۴) تحقیقی در زمینه‌ی مقایسه تخمین خشک‌کردن دینامیکی گیاه اکناسه‌آ آنگوستیفولیا (یک گیاه با کاربرد پزشکی فراوان) به‌وسیله تحلیل رگرسیونی و شبکه‌ی عصبی انجام دادند. در این تحقیق خشک‌کردن دینامیکی لایه نازک این گیاه و مقایسه‌ی آن در تحلیل رگرسیونی و شبکه‌ی عصبی بررسی شده است. آزمایش‌ها در سه سطح دمایی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد و در سه سطح سرعت هوا ۰/۳، ۰/۷ و ۱/۱ متربرثانیه و طول نمونه در سه اندازه کمتر از ۳ میلی‌متر، بین ۳ تا ۶ میلی‌متر و بیشتر از ۶ میلی‌متر انجام شد. ۱۵۰ گرم از نمونه‌ها پس از خروج از یخچال تحت تیمارهای فوق در خشک‌کن قرار گرفت. تحلیل رگرسیونی با چهار مدل نیوتن، هندرسون و پابیس، پیچ و پیچ اصلاح شده صورت گرفت و هم‌زمان تحلیل در شبکه‌ی عصبی نیز صورت گرفت و شبکه بهینه دو لایه با یک لایه مخفی و ۳۰ نرون حاصل شد. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که مدل شبکه‌ی عصبی با ۰/۱ درصد دقت بهتر از مدل پیچ اصلاح شده ظرفیت رطوبت را تخمین زد.

-
1. Feed-Forward Back propagation
 2. Error Back Propagation
 3. Cascade-Forward Back propagation
 4. Momentum
 5. Levenberg-Marquardt
 6. Hessian Matrix

اسلام و همکاران (۲۰۰۳) پژوهشی در زمینه‌ی پیش‌گویی سرعت خشک شدن توسط شبکه‌ی عصبی انجام دادند. این تحقیق بر روی ورقه‌های گوجه‌فرنگی صورت گرفت. تیمارها شامل سرعت هوا در محدوده‌ی ۰/۵ تا ۲ متر بر ثانیه، دمای هوای خشک‌کن در محدوده‌ی ۴۰ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی هوا در محدوده‌ی ۵ تا ۵۰ درصد و ضخامت ورقه‌های نمونه در محدوده‌ی ۳ تا ۱۰ میلی‌متر بود. در این تحقیق از مدل خشک شدن پیچ استفاده شده بدین نحو که همین مدل در شبکه عصبی آنالیز شد.

زیبسنسکی و سیلسکی (۲۰۰۰) برای پیش‌بینی ضریب انتقال حرارت مواد مختلف، میتال و زانگ (۲۰۰۰) برای تخمین رطوبت و دما در فرایند حرارتی از جمله محققینی هستند که از این تکنیک استفاده کرده‌اند.

فارکاس و همکاران (۲۰۰۰) جنبه‌های مدل‌سازی حبوبیات خشک‌شده توسط شبکه‌ی عصبی را مورد مطالعه قرار دادند. هدف از این تحقیق تخمین زدن رابطه‌ی بین توزیع رطوبت مواد خشک شده و پارامترهای فیزیکی شامل دمای خشک‌شدن، رطوبت و سرعت هوای دمیده شده بود. در این پژوهش ورودی‌های شبکه شامل سرعت جریان هوا در سه سطح ۰/۰۸۹، ۰/۱۷۸ و ۰/۲۶۷ متر بر ثانیه و دمای هوای ورودی در سه سطح ۵۴/۴، ۶۸ و ۸۱/۶ درجه‌ی سلسیوس و رطوبت ویژه‌ی هوای خشک‌کن در سه سطح ۲/۸، ۱۴/۵ و ۲۶/۲ گرم بر مترمکعب و همه‌ی تیمارها در سه تکرار انجام شد. نتیجه حاصله در این تحقیق به شرح زیر بود که می‌توان در یک خشک‌کن بستر ثابت توزیع رطوبت در اعماق توده محصول در حال خشک شدن را توسط شبکه عصبی مدل کرد به نحوی که خروجی شبکه (تخمین رطوبت) به تغییرات ورودی شبکه بیشتر حساس باشد.

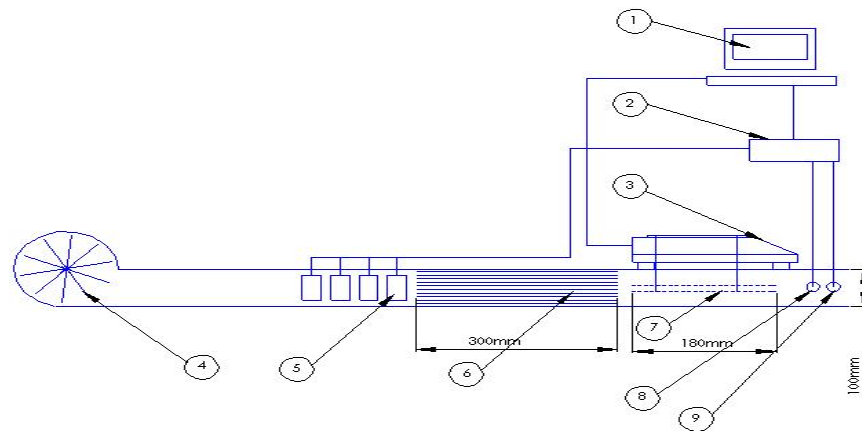
شریفی و همکاران (۱۳۸۸) به شبیه‌سازی مدل سینتیک خشک‌شدن پرتقال رقم تامسون با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند. در این تحقیق ورودی شبکه شامل دما در ۵ سطح، سرعت هوا در ۳ سطح و زمان خشک‌شدن و بردار خروجی محتوای رطوبتی پرتقال بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از یک خشک‌کن لایه نازک آزمایشگاهی استفاده شد (شکل ۱). این خشک‌کن از یک فن سانتریفیوژ برای ایجاد جریان هوا و چهار گرم‌کن برقی ۵۰۰ وات جمعاً به قدرت ۲۰۰۰ وات برای گرم‌کردن هوای ورودی به محفظه خشک‌کن و دو حسگر دما (LM35) و رطوبت (خازنی، ساخت فیلیپین) برای اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده و یک ترازوی دیجیتالی با حساسیت ۰/۰۱ و ظرفیت ۳۱۰۰ گرم تشکیل شده است. برای اجرای الگوریتم کنترل و پایش اطلاعات، نرم افزاری در محیط ویژوال بیسیک ۶ پیاده‌سازی شده که اطلاعات مربوط به حسگرهای دما و رطوبت و نیز روشن یا خاموش بودن هر یک از گرم‌کن‌ها را در هر لحظه نمایش می‌دهد (یداللهی‌نیا، ۱۳۸۵).

برای اندازه‌گیری سرعت جریان هوا از یک سرعت‌سنج نوع سیم داغ مدل TESTO 405-V1 (ساخت آلمان) با حساسیت ۰/۰۱ m/s استفاده شد. نحوه خشک کردن بدین صورت است که هوای جریان یافته در کانال به‌وسیله دمنده از گرم‌کن گذشته و پس از گرم شدن به وسیله کانال به سمت توده ترنج هدایت می‌شود. جریان هوا هنگام گذر از توده، رطوبت ترنج را جذب و باعث گرم شدن آن می‌شود. بدین ترتیب افزایش دما باعث تسریع در خروج

آب از بافت نمونه و در نتیجه خشک شدن محصول می‌گردد. ۱۶۵ گرم ورقه نازک ترنج بر روی دو سینی توری آلومینیمی مربعی به طول ۲۵ سانتی متر به گونه‌ای ریخته شد که روی هر سینی یک لایه از محصول قرار گرفته بود.



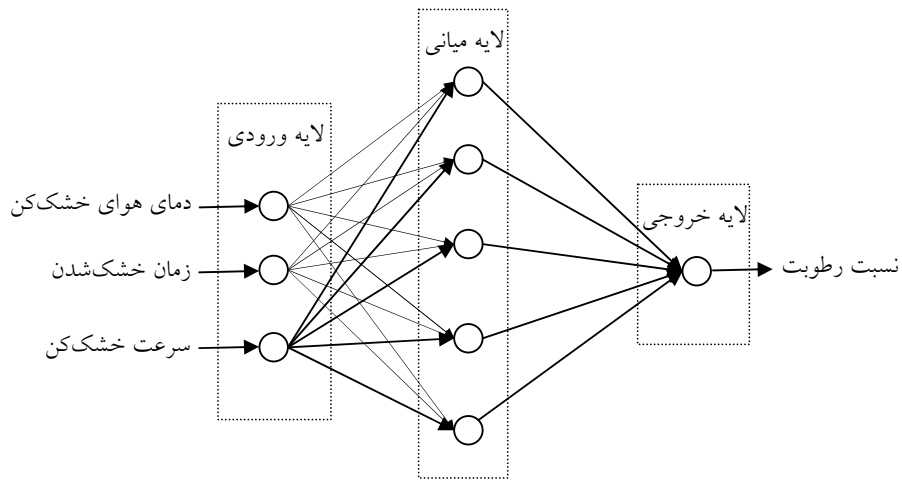
۱- رایانه ۲- میکروکنترلر ۳- ترازوی دیجیتال ۴- فن سانتریفیوژ ۵- گرم‌کن‌ها
 ۶- محفظه مستقیم کننده ۷- سینی نمونه‌ها ۸- حسگر دما ۹- حسگر رطوبت
 شکل ۱- طرحواره خشک‌کن آزمایشگاهی مورد استفاده

روش تهیه نمونه

پس از شستن سطح ترنج، به وسیله دستگاه ورقه‌بر برگه‌های ترنج با ضخامت ۴ میلی متر تهیه شد. آزمایش‌های خشک کردن در پنج دمایی ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس و سرعت جریان هوای ورودی در دو سطح ۱ و ۲ متربرثانیه در سه تکرار انجام شد. در طی خشک شدن، وزن ورقه‌ها به وسیله ترازوی دیجیتالی متصل به رایانه و رطوبت و دمای هوای خشک‌کن در هر ۵ ثانیه اندازه‌گیری و ثبت می‌شد. خشک شدن تا زمان ثابت شدن تقریبی وزن ورقه‌های نازک ترنج (تغییرات وزن نمونه تقریباً صفر شد) ادامه داشت. سپس نمونه‌ها در داخل آون قرار داده شد با دمای ۱۰۵°C و پس از خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت وزن خشک نمونه‌ها به دست آمد (ASABE, 2006).

طراحی شبکه عصبی مصنوعی

با در نظر گرفتن سه عامل ورودی اعمال شده در همه آزمایش‌های خشک کردن لایه نازک، نسبت رطوبت توده ترنج به دست آمد. شبکه عصبی مصنوعی با سه نرون لایه ورودی (زمان خشک کردن، سرعت و دمای خشک‌کن) و یک نرون لایه خروجی (نسبت رطوبت) طراحی شد (شکل ۲). از نرم افزار Neurosolutions نسخه ۵ در این تحقیق استفاده گردید. برای دست‌یابی به پاسخ مناسب از شبکه پس انتشار پیشخور استفاده شد. فرایند آموزش توسط شبکه‌ی فوق فرایندی تکراری است که شامل تغییر وزن‌های بین لایه‌های مختلف و در طی آموزش به تدریج به سمت ثبات این وزن‌ها پیش می‌رود. به طوری که خطای بین مقادیر مطلوب (مقدار واقعی) و پیش‌بینی شده به حداقل برسد.



شکل ۲. طرحواره کلی شبکه‌ی عصبی مصنوعی طراحی شده

تابع فعال‌سازی مورد استفاده برای یافتن حالت بهینه عبارت است از (خانا، ۱۹۹۰):

$$Y_j = \frac{2}{(1 + \exp(-2X_j))} - 1 \quad (۱) \quad \text{تابع تانژانت هایپربولیک}^۱$$

که X_j ، مجموع ورودی‌های وزن‌دار هر یک از نرون‌های لایه j ام است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$X_j = \sum_{i=1}^m W_{ij} \times Y_i + b_j \quad (۲)$$

که m تعداد نرون‌های لایه خروجی، W_{ij} وزن بین لایه i و j ، Y_i خروجی نرون i ام و b_j مقدار بایاس نرون لایه j ام است.

حدود ۶۰٪ داده‌ها برای آموزش، ۱۵٪ برای اعتبارسنجی و ۲۵٪ داده‌ها به طور تصادفی برای ارزیابی شبکه آموزش‌دیده مورد استفاده قرار گرفت. برای یافتن شبکه‌ای با توپولوژی مناسب به کمک الگوریتم‌های آموزشی، از معیار میانگین مربع خطا استفاده شده است که هدف کمینه شدن خطای مذکور است و با رابطه (۳) تعریف می‌شود (دیهاف، ۱۹۹۰؛ خانا، ۱۹۹۰):

$$MSE = \frac{\sum_{p=1}^M \sum_{i=1}^N (S_{ip} - T_{ip})^2}{NP} \quad (۳)$$

که در آن MSE میانگین مربع خطا در مرحله آموزش، S_{ip} خروجی شبکه در نرون i ام و الگوی p ام، T_{ip} خروجی مطلوب در نرون i ام و الگوی p ام، N تعداد نرون‌های خروجی و M تعداد الگوهای آموزشی است.

نتایج و بحث

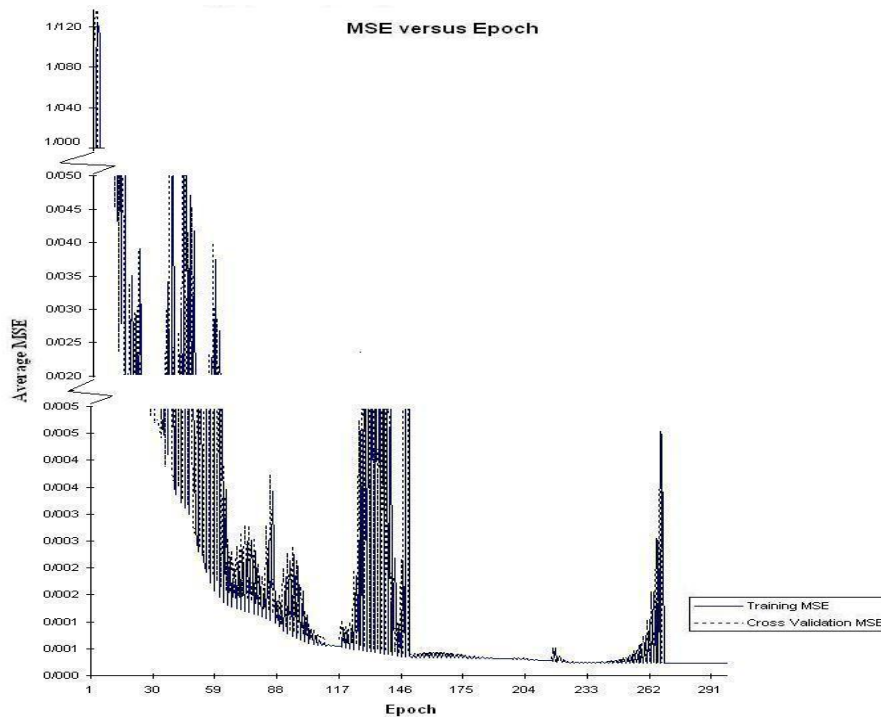
جدول ۱ مقدار خطای شبیه‌سازی به وسیله روش شبکه عصبی مصنوعی با تعداد نرون‌ها و لایه‌های پنهان متفاوت را در ضخامت ۴ میلی‌متری ورقه نازک ترنج ارائه می‌دهد. مطابق با جدول ۱ هنگامی که از ۱ لایه پنهان با ۶ نرون از الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت استفاده شده بهترین جواب ارائه گردیده است.

جدول ۱. مقایسه اثر تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌ها در هر لایه پنهان بر دقت پیش‌بینی نسبت رطوبت در دماها و سرعت‌های هوای خشک کن با ضخامت ۴ میلی‌متری پرتقال

R ²	MSE	تعداد نرون‌های لایه پنهان			الگوریتم
		سوم	دوم	اول	
۰/۹۹۷۸۶	۰/۰۰۰۳۳	---	---	۲	لوئینگ-مارکوارت
۰/۹۹۸۴۵	۰/۰۰۰۲۳	---	---	۳	
۰/۹۷۶۸۶	۰/۰۰۳۳۴	---	---	۴	
۰/۷۲۱۸۹	۰/۰۴۱۴۳	---	---	۵	
۰/۹۹۹۲۵	۰/۰۰۰۱۱	---	---	۶	
۰/۹۹۴۳۰	۰/۰۰۰۸۹	---	---	۷	
۰/۹۸۰۱۸	۰/۰۰۳۰۲	---	---	۸	
۰/۹۶۹۸۰	۰/۰۰۴۴۴	---	۱	۲	
۰/۹۸۲۲۹	۰/۰۰۲۸۷	---	۲	۲	
۰/۸۱۵۰۹	۰/۰۲۶۳۱	۱	۱	۱	
۰/۹۳۸۵۷	۰/۰۰۸۸۳	۱	۱	۲	
۰/۹۷۸۹۸	۰/۰۰۳۱۹	۱	۲	۲	
۰/۹۹۴۱۳	۰/۰۰۰۸۵	۱	۱	۳	
۰/۹۹۵۰۲	۰/۰۰۰۷۵	۱	۲	۳	
۰/۹۵۱۶۷	۰/۰۰۷۳۳	۱	۳	۳	
۰/۹۷۲۳۰	۰/۰۰۴۲۳	---	---	۱	
۰/۹۷۷۴۰	۰/۰۰۳۵۶	---	---	۲	
۰/۹۶۸۵۰	۰/۰۰۴۷۹	---	---	۳	
۰/۹۳۴۶۰	۰/۰۰۹۳۷	---	---	۴	
۰/۹۴۱۳۰	۰/۰۰۸۶۰	---	---	۶	
۰/۰۷۸۴۰	۰/۱۳۸۹۱	---	---	۷	
۰/۴۷۸۷۰	۰/۰۷۴۳۸	---	۱	۲	
۰/۹۴۷۳۱	۰/۰۰۸۵۰	---	۲	۲	
۰/۳۴۳۸۱	۰/۰۷۹۱۱	۱	۱	۱	
۰/۸۵۶۲۱	۰/۰۶۳۹۳	۱	۱	۲	
۰/۳۵۳۰۰	۰/۰۷۳۴۶	۱	۲	۲	
۰/۹۲۹۰۰	۰/۰۳۰۶۷	۱	۳	۳	

مورمتوم

شکل ۳ روند کاهش خطای مدل‌سازی خشک‌کردن ورقه نازک ترنج با ضخامت ۴ میلی‌متر در سرعت‌ها و دمای هوای خشک‌کن با افزایش اپوک را نشان می‌دهد.



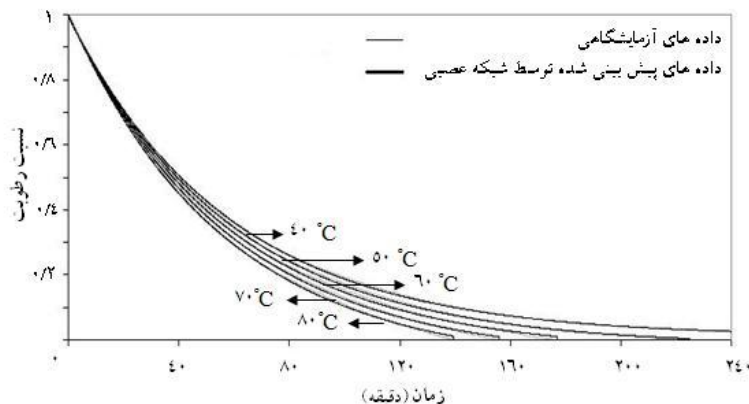
شکل ۳. روند کاهش خطای مدل‌سازی خشک کردن ورقه نازک ترنج با افزایش اپوک

طبق رابطه (۲)، ماتریس‌های وزن و بایاس برای لایه ورودی به لایه پنهان برای توپولوژی بهینه در ضخامت ۴ میلی‌متری ترنج به ترتیب عبارتند از:

$$\begin{bmatrix} 1/30 \\ 2/52 \\ -1/18 \\ 1/46 \\ -2/54 \\ 2/10 \\ -1/49 \end{bmatrix} \text{ و } \begin{bmatrix} -0/37 & 4/64 & -0/89 \\ -0/58 & 3/40 & 2/81 \\ 0/46 & -1/84 & -1/51 \\ 1/48 & 1/83 & 0/19 \\ -2/20 & -0/69 & -0/22 \\ 2/18 & 0/16 & 0/04 \\ 0/51 & -7/84 & -5/95 \end{bmatrix}$$

ماتریس‌های وزن و بایاس برای لایه پنهان به لایه خروجی برای توپولوژی بهینه در ضخامت ۴ میلی‌متری ترنج عبارتند از: $[1/45 \quad -4/32 \quad -3/10 \quad -4/92 \quad -5/29 \quad -3/55 \quad -0/32]$ و $[4/47]$.

در شکل ۴ به عنوان نمونه مقایسه‌ای میان مقدار نسبت رطوبت آزمایشگاهی با مدل‌سازی براساس روش شبکه عصبی مصنوعی در سرعت هوای ۲ متربرثانیه و ضخامت ۴ میلی‌متری ورقه ترنج صورت گرفته است.



شکل ۴. مقایسه مقدار نسبت رطوبت آزمایشگاهی با مدلسازی براساس روش شبکه عصبی مصنوعی در سرعت ۲ متر بر ثانیه و ضخامت ۴ میلی متر

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که:

- ۱- شبکه عصبی مصنوعی، نسبت رطوبت ورقه های نازک ترنج را به کمک سه پارامتر ورودی زمان، سرعت های هوای خشک شدن و دماهای خشک کن پیش بینی می کند. بهترین شبکه عصبی برای آموزش داده ها، شبکه پس انتشار پیشخور با الگوریتم آموزش لونیبرگ- مارکوارت و تابع فعال سازی TANSIG برای لایه ها با توپولوژی ۱-۶-۳ و ضریب تعیین ۰/۹۹۹۲۵ برای ضخامت ۴ میلی متری ورقه های ترنج در شرایط مختلف خشک کردن لایه نازک می باشد.
- ۲- در نهایت می توان نتیجه گرفت که شبکه عصبی مصنوعی ابزاری بسیار مناسب جهت پیش بینی نسبت رطوبت در مبحث خشک کردن لایه نازک محصولات کشاورزی می باشد.

منابع و مراجع

- ۱- بی نام. (۱۳۸۶). مؤسسه تحقیقات مرکبات ایران. وزارت جهاد کشاورزی.
- ۲- شریفی، م. رفیعی، ش. کیهانی، ع.ر. امید، م. (۱۳۸۸). شبیه سازی مدل سینتیک خشک شدن بستر نازک پرتقال (رقم تامسون) با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. مجله علوم و صنایع غذایی ایران. دوره ۶(۳). ۱-۱۱.
- ۳- شبیانی، ح. (۱۳۷۷). باغبانی- قسمت اول: میوه های نیمه گرمسیری و گرمسیری و چای. مرکز نشر سپهر. ۱۸۷ ص.
- ۴- مجتهدی، ع. (۱۳۷۶). عملیات باغداری مرکبات در کناره دریای خزر. انتشارات بهنشر. ۱۵۱ ص.
- ۵- منهج، م. ب. (۱۳۷۹). مبانی شبکه های عصبی مصنوعی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۱۱۵ ص.
- ۶- یداللهی نیا، ع.ر. (۱۳۸۵). استخراج مدل خشک شدن شلتوک در خشک کن لایه نازک. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی ماشین های کشاورزی. دانشکده مهندسی بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ۱۰۷ ص.

7. ASABE. (2006). Moisture measurement: grain and seeds. ASABE Standard S352.2. FEB03. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St Joseph, MI 49085-9659, USA.
8. Cögüs, F. (1994). The effect of movement of solutes on Millard reaction during drying. Ph.D. thesis. Leeds University, Leeds.
9. Dayhoff, J.E. (1990). Neural Networks Principles. Prentice-Hall International. U.S.A.
10. Erenturk, K., Erenturk S. and Lope. G. (2004). A comparative study for the estimation of dynamical drying behavior of *Echinacea angustifolia*: regression analysis and neural network. Computers and Electronics in Agriculture, Vol 45 (3), 71-90.
11. Farkas, I., Remenyi. P. and Biro. A. (2000). A neural network topology for modeling grain drying. Computers and Electronics in Agriculture. Vol 26, 147-158.
12. Hagan, M. T. and Menhaj. M. B. (1994). Training feed forward networks with the marquardt algorithm. IEEE Transaction on Neural Networks. Vol 5(6), 989-993.
13. Islam, M. R., sablani. S. S. and Mujumdar. A. S. (2003). An artificial neural network model for prediction of drying rates. Drying Technology. Vol 21(9), 1867-1884.
14. Khanna, T. (1990). Foundations of Neural Networks. Addison-Wesley Publishing Company. U.S.A.
- Kishan M., Chilukuri. K. and Ranka. M. (1996) Elements of Artificial Neural Networks. 360 pp.
15. Mittal, G. S. and Zhang. J. (2000). Prediction of temperature and moisture content of frankfurters during thermal processing using neural network Meat Science, Vol55 (1), 13-24.
16. Zbicinski, I and Ciesislski. K. (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.

Kinetic model simulation of thin-layer drying of bergamot fruit using artificial neural network

Abstract

Citrus are of great important among agricultural products in the world. In this study thin-layer drying of bergamot was modeled using artificial neural network (ANN). An experimental dryer was used. Thin-layer of bergamot slices at five air temperatures (40, 50, 60, 70 & 80 °C), two air velocities (1 & 2 m/s) and one thickness (4 mm) were artificially dried. Initial M.C. during all experiments was between 5.2 to 5.8 (g/g) (d.b.). Mass of samples were recorded and saved every 5 sec. using a digital balance connected to a PC. MLP with momentum and LM were used to train the ANN. In order to develop ANN's models, temperatures, air velocity and time are used as input vectors and moisture ration as the output. Results showed a 3-6-1 topology for thickness of 4 mm, with LM algorithm and TANSIG activation function was able to predict moisture ratio with R^2 of 0.99925. The corresponding MSE for this topology was 0.00011.

Keywords: Bergamot, Thin-layer, Artificial neural network, Levenberg-Marquardt