



برآورد محتوای رطوبتی ورقه سیب‌زمینی در خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز - خلا به کمک

شبکه عصبی مصنوعی

نگار حافظی^{۱*}، محمد جواد شیخ داودی^۲، سید مجید سجادیه^۳، محمد اسماعیل خراسانی فردوانی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز

۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز

ایمیل مکاتبه کننده: nhafezi05@yahoo.com

چکیده

هدف از این تحقیق پیش‌بینی محتوای رطوبت ورقه‌های سیب‌زمینی در طی فرآیند خشک کردن با گرمایش مادون قرمز تحت شرایط خلا به عنوان تابعی از زمان خشک کردن، میزان فشار مطلق، توان تابشی لامپ مادون قرمز، ضخامت ورقه و محتوای رطوبت محصول به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. آزمایش‌ها در سه سطح توان تابشی لامپ مادون قرمز ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ وات، چهار سطح فشار مطلق ۲۰، ۸۰، ۱۴۰ و ۷۶۰ میلی‌متر جیوه با سه ضخامت ورقه ۱، ۲ و ۳ میلی‌متر در سه تکرار انجام گردید. از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه پس انتشار پیشخور با الگوریتم یادگیری لوببرگ-مارکوورت جهت پیش‌بینی تغییرات رطوبت نسبت به زمان در طی فرآیند خشک کردن استفاده گردید. بهترین چیدمان شبکه عصبی اول بر اساس یک لایه پنهان با تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید به صورت ۱-۴-۴ و برای شبکه عصبی دوم با تابع انتقال لگاریتم سیگموئید به صورت ۱-۴-۵ می‌باشد. به طور کلی نتایج حاکی از آن بود که شبکه عصبی دوم با آرایش مذکور و ضریب تبیین ۰/۹۹۹۴ نتایج بهتری را در جهت پیش‌بینی نسبت رطوبت ورقه‌های سیب‌زمینی ارائه نموده است.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، خشک کردن، محتوای رطوبت، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، الگوریتم لوببرگ-مارکوورت

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum L.*) یکی از سبزیجات تجاری می‌باشد که به مقدار زیادی در جهان تولید می‌شود. بر اساس آمار فائو^۱ در سال ۲۰۱۰ ایران با تولید سالانه ۴/۱ میلیون تن سیب‌زمینی در رتبه شانزدهم تولید این محصول در جهان قرار دارد (FAO, 2010). صرف‌نظر از این که مقداری از سیب‌زمینی به صورت تازه مصرف می‌شود، خشک کردن آن سبب تولید محصولی می‌شود که علاوه بر حفظ کیفیت، باعث عمر انبارمانی بالای آن می‌شود. صنعت تولید چیپس سیب‌زمینی، با ظرفیت حدود ۳۰ هزار تن در سال بیشترین نقش را در جذب سیب‌زمینی در ایران دارد. اگر چه سرخ کردن

^۱FAO



مواد غذایی از جمله سیب‌زمینی در روغن موجب افزایش طعم و مزه و شکل ظاهری آن می‌شود ولی بخاطر تحمل حرارت بیش از ۱۵۰ درجه سلسیوس در جریان سرخ کردن چپس سیب‌زمینی، مشکلات بهداشتی و تغذیه‌ای به وجود می‌آید. سیب‌زمینی در طی فرایند سرخ کردن به طور معمول ۳۵-۴۰ درصد روغن جذب می‌کند. این مقدار روغن علاوه بر اینکه از نظر اقتصادی و مقدار کالری قابل جذب برای مصرف‌کننده مناسب نیست، بلکه نوع روغن مصرفی و تغییراتی که محصول در جریان سرخ کردن و در طول نگهداری بعد از تولید پیدا خواهد کرد قابل توجه و اهمیت است. خشک کردن تنها یک فرآیند ساده رطوبت محصول نمی‌باشد، بلکه بر دیگر خواص فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی از جمله فعالیت آنزیمی، فساد میکروبی، گرانروی، سختی، طعم و مطبوعیت محصول اثرگذار است. این تغییرات فیزیکی شامل چروکیدگی، پف کردن، تبلور و تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی شامل تغییر رنگ، بافت، بو و خواص دیگر غذاها می‌باشد. خشک کردن همچنین می‌تواند باعث کاهش کیفیت خوراکی و ارزش غذایی شود و آسیب‌های ساختاری غیر قابل برگشت در غذا ایجاد کند. هدف از طراحی تجهیزات خشک کردن، به حداقل رساندن این تغییرات است که با انتخاب شرایط مناسب برای خشک کردن هر غذا محقق می‌شود (Maskan, 2001). همچنین خشک کردن در مصرف بعضی غذاها تنوع و راحتی بیشتری برای مصرف‌کننده به ارمغان می‌آورد و باعث کاهش وزن و حجم بسته‌بندی و هزینه‌های حمل و نقل و انبارداری می‌شود (سلیمانی فرد، ۱۳۸۸).

یکی از جنبه‌های مهم فناوری خشک کردن بخصوص برای فرآیندهای صنعتی، مدل‌سازی ریاضی فرآیند خشک کردن است. هدف از مدل‌سازی این است که مناسب‌ترین روش خشک کردن و همچنین بهترین شرایط عملیاتی را برای بدست آوردن یک محصول معین، بتوان انتخاب کرد. بطور کلی برای مدل کردن پدیده‌های فیزیکی نظیر نسبت رطوبت محصولات کشاورزی دو روش وجود دارد، یک روش استتجاجی است، یعنی با استفاده از نظریه‌ها و فرمول‌های ریاضی نظیر قانون دوم فیک یا نوع ساده شده آن موسوم به قانون سرد شدن نیوتن، به صورت غیرمستقیم با استفاده از روابط و ضرایب ثابت مدل‌سازی انجام می‌شود (Broyart and Trystram, 2003). به عنوان مثال استفاده از مدل‌های خشک کردن محصولات کشاورزی مانند مدل نیوتن، پیچ، دو جمله‌ای، تقریب پخش و غیره که هر کدام دارای ثابت‌ها و ضرایب خاص خود می‌باشند. این روش 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 شبکه‌های عصبی مصنوعی جزء روش‌های استقرایی (مستقیم) می‌باشد چون بدون استفاده از رابطه یا فرمولی، فرآیند را مدل‌سازی می‌کند (بهارلوئی و همکاران، ۱۳۸۶). استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در سطح وسیعی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مورد نیاز در فرآیندهای خشک کردن، در حال رشد و توسعه است. مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در مورد فرآیندهایی که تعریف دقیق و درک خاصی از آن‌ها وجود ندارد، بسیار مؤثر عمل می‌کنند و قادر هستند که هر تابع ریاضی را با دقت قابل قبولی تخمین بزنند. کاهش تأثیر خطای داده‌ها و داده‌های از دست رفته و توانایی پیش‌بینی دو یا چند متغیر وابسته به طور همزمان از جمله مزیت‌های شبکه‌های عصبی است. همچنین نیاز به محاسبات طولانی برای حل معادلات دیفرانسیل با استفاده از روش‌های عددی نیست، در حالی که در یک شبکه عصبی مصنوعی، نتایج به صورت ضرب ساده ماتریس ورودی در



ماتریس وزن بدست می‌آید (متولی و همکاران، ۱۳۸۹). تاکنون محققین زیادی از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی برخی پارامترهای مورد نظر در خشک‌کن‌ها استفاده کرده‌اند که در زیر به برخی از آنها اشاره شده است. کوبیلوس و ریز^۱ (۲۰۰۳) برای خشک کردن هویج از یک شبکه عصبی مدولار استفاده کردند. پارامترهای سرعت و دمای هوای خشک و زمان به عنوان پارامترهای ورودی به شبکه در نظر گرفته شد. در این بررسی از شبکه‌ای با دو زیر لایه یکی با نرون‌های سیگموئیدی و دیگری با نرون‌های خطی استفاده شد. منحنی‌های خشک کردن حاصل از این شبیه‌سازی که با این شبکه بدست آمدند با دقت مناسبی به داده‌های آزمایشی برازش داده شدند. از این مدل برای خشک کردن هویج در یک خشک‌کن مکانیکی استفاده شد. نتایج نشان دهنده آن بود که شبکه مدولار برای استفاده در تخمین تقریبی به منظور طراحی و انتخاب شرایط کاری بهینه و مقیاس کردن خشک‌کن مناسب است. پونوی و همکاران^۲ (۲۰۰۶) مدل‌سازی به وسیله شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی و دما، در برش‌های گوجه فرنگی با کمک خشک‌کن میکروویو - خلاء مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی بر اساس دو لایه پنهان و ۲۵ نرون در هر لایه به عنوان بهترین چیدمان در پیش‌بینی محتوای رطوبت و دما انتخاب گردید. مقادیر میانگین خطای نسبی و میانگین خطای مطلق برای دما به ترتیب ۱/۵۳ درصد و ۰/۷۷ درجه سانتی‌گراد بود. بهروزی‌خزایی و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهشی به بررسی شاخص‌های مهم خشک شدن انگور در روش خشک کردن با جریان هوای گرم به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند. در این تحقیق دمای هوا، سرعت جریان هوا و نوع آماده‌سازی اولیه انگور از پارامترهای مهم در خشک کردن انگور با خشک‌کن‌های جریان هوای گرم می‌باشد که به عنوان پارامتر مستقل برای شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شد. با به دست آمدن زمان خشک شدن و کیفیت محصول نهایی از چندین شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم یادگیری لونیبرگ-مارکواریت برای آموزش الگوها استفاده شد. نتایج نشان داد که شبکه بهینه پس انتشار المان با توپولوژی ۳-۶-۳ و الگوریتم لونیبرگ-مارکواریت با تابع آستانه سیگموئید لگاریتمی قادر است زمان خشک شدن و پارامترهای کیفی محصول نهایی (شاخص روشنایی و شاخص نسبت قرمزی به زردی) را به ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۹۹۱، ۰/۹۷۳، ۰/۹۹۳ و با خطاهای حقیقی ۱/۶۵، ۰/۳۹، ۰/۰۲۶ پیش‌بینی کند. اعمال خطا به متغیرهای ورودی شبکه‌ی بهینه نشان داد که عملکرد شبکه به دلیل تولید خطای آموزش کمتر از خطای ورودی، به طور مناسبی قادر به پیش‌بینی مقادیر خروجی می‌باشد. شایگانی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی بر روی توسعه مدل پیش‌بینی زمان خشک شدن موز در طی فرآیند خشک کردن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی کار کردند که برای به دست آمدن تغییرات محتوای رطوبتی با زمان از شبکه‌های چند لایه پس انتشار برگشتی با الگوریتم‌های یادگیری لونیبرگ-مارکواریت، الگوریتم پس انتشار ارتجاعی و الگوریتم گرادیان نزولی مقیاسی، برای آموزش الگوها بهره گرفتند و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم لونیبرگ-مارکواریت نتایج بهتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها نشان داد. شبکه عصبی با الگوریتم لونیبرگ-مارکواریت با تابع آستانه سیگموئید لگاریتمی در مقایسه با توپولوژی‌های دیگر نتایج بهتری را ارائه کرد.

¹ Cubillos and Reyes

² Poonnoy et al.



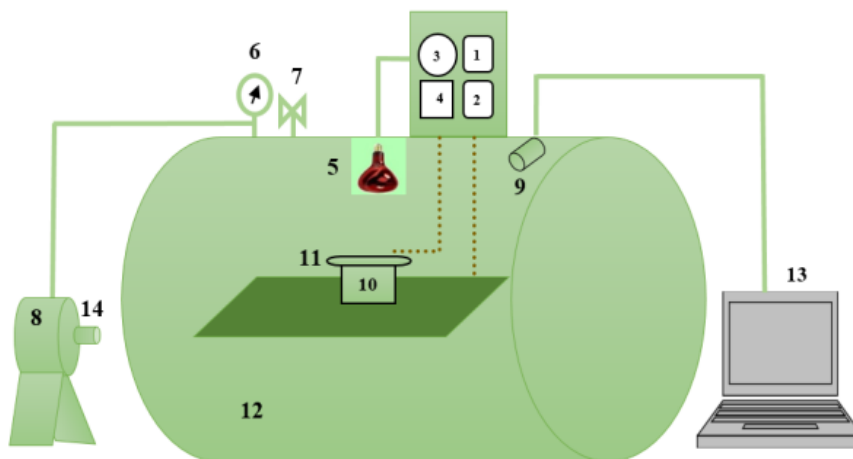
هدف از این تحقیق پیش‌بینی نسبت رطوبت ورقه‌های سیب‌زمینی خشک شده و تعیین بهترین چیدمان شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر در فرآیند خشک کردن (نسبت رطوبت) می‌باشد. در این پژوهش دو نوع آرایش شبکه عصبی برای پیش‌بینی نسبت رطوبت سیب‌زمینی مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت بهترین آرایش شبکه تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق از سیب‌زمینی، رقم مارفونا با وزن مخصوص $1/065$ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ماده خشک $1/35 \pm$ $19/01\%$ استفاده شد. در این تحقیق از یک خشک‌کن خلایی به همراه وسیله گرمایشی (لامپ مادون قرمز) در مقیاس آزمایشگاهی موجود در کارگاه آموزشی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز، با شماتیک کلی نشان داده شده در شکل (۱) استفاده گردید. اجزای اصلی دستگاه شامل یک محفظه‌ی استوانه‌ای شکل از جنس فولاد و یک پمپ خلأ پیستونی با ولتاژ 220 ولت، فرکانس 50 هرتز و شدت جریان الکتریکی $5/1$ آمپر است. درون محفظه تعدادی میله به صورت افقی و موازی با هم جهت قرار دادن ترازو و سینی نمونه تعبیه شده است. به منظور ایجاد شدت تابش‌های مختلف بر روی نمونه از یک لامپ مادون قرمز با توان 250 وات و ولتاژ 230 ولت ساخت کشور اسلواکی و شرکت OSRAM استفاده شد. در همه تیمارهای آزمایشی لامپ مادون قرمز درون دستگاه به مدت 15 دقیقه جهت یکسان شدن شرایط دمایی درون محفظه قبل از شروع آزمایش‌ها روشن می‌شد. پیش از شروع کار پمپ، فشار مخزن با فشار هوا یکسان بوده است، سیکل کاری دستگاه با تابش لامپ مادون قرمز برای ایجاد حرارت و بکار انداختن پمپ خلأ جهت مکش هوای درون محفظه‌ی خلأ آغاز می‌شد، در این حالت با مکش هوا توسط پمپ، فشار درون محفظه کاهش می‌یافت. زمان خشک شدن با رسیدن رطوبت محصول به رطوبت نهایی و توقف پمپ خلأ، خاموش شدن لامپ و نیز باز شدن شیر تهویه و ورود هوا به درون محفظه متوقف شد. از لامپ مادون قرمز در قسمت فوقانی محفظه خلأ جهت حرارت دادن به محصول و تسریع عمل خشک شدن استفاده شد. ارتفاع نصب لامپ تا سینی نمونه‌ها در یک سری پیش‌آزمایش‌ها اندازه‌گیری و مقدار ثابت 15 سانتی‌متر تعیین شد. دمای ناشی از تابش نور لامپ به سطح محصول به وسیله یک حسگر دما (SAMWON ENG, SU-105KRR) که در زیر سینی نمونه قرار داشت سنجیده شد. دمای شروع کار جهت انجام آزمایش‌ها (در مدت زمان 15 دقیقه پیش از شروع فرآیند) در تمام تیمارها یکسان و به میزان 50 درجه سلسیوس بوده است. میزان ولتاژ لامپ با استفاده از یک دیمر در تمام آزمایش‌ها قابل تنظیم بود، در این حالت میزان شدت جریان نیز به تبع تغییر ولتاژ متغیر می‌باشد. مقدار توان مصرفی لامپ مادون قرمز جهت انجام فرآیند خشک کردن در سه سطح 100 ، 150 و 200 وات مورد بررسی قرار گرفت. شرایط خلأ درون محفظه توسط شیر تنظیم خلأ کنترل شد و میزان خلأ مرتباً توسط خلأ‌سنج (WKP-SH01) نصب شده روی قسمت فوقانی محفظه خشک‌کن کنترل گردید. میزان خلأ در چهار سطح فشار مطلق 20 ، 80 ، 140 و 760 میلی‌متر جیوه سنجیده شد. رطوبت نسبی هوای محفظه تحت خلأ از طریق حسگر رطوبت سنج پایش می‌شد. رطوبت نسبی درون محفظه خشک‌کن در شروع آزمایش‌ها به طور میانگین برابر با 35 درصد بود. تغییرات محتوای رطوبتی محصول دائماً از طریق اندازه‌گیری وزن سیب‌زمینی‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت $0/05$



گرم (Lutron, GM- 1500P, Taiwan) جای داده شده درون محفظه خشک‌کن سنجیده شد. جهت قرائت کردن لحظه‌ای کاهش وزن سیب‌زمینی‌ها از یک دوربین (Farassoo-FC-2370) نصب شده بر روی سقف محفظه خشک‌کن استفاده گردید. دوربین از طریق سیم رابط به رایانه متصل شده بود.



شکل ۱- شماتیک دستگاه خشک‌کن مورد استفاده

۱: نمایشگر رطوبت‌سنج ۲: نمایشگر دماسنج ۳: دیمر لامپ مادون قرمز ۴: ولت‌متر ۵: لامپ مادون قرمز ۶: خلأ‌سنج ۷: شیر تنظیم خلأ ۸: پمپ خلأ ۹: دوربین ۱۰: ترازوی دیجیتال ۱۱: سینی نمونه‌ها ۱۲: محفظه خلأ ۱۳: رایانه ۱۴: مجرای خروج هوا

در کلیه آزمایش‌ها سیب‌زمینی‌ها تا زمان انجام آزمایش جهت کاهش میزان شدت تنفس و تغییرات فیزیولوژی و شیمیایی در سردخانه‌ی دانشکده کشاورزی با دمای ۴ تا ۶ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد نگهداری شدند. قبل از انجام آزمایش‌ها تعدادی از نمونه‌های سیب‌زمینی را شسته تا مواد خارجی و ذرات خاک، به خوبی از آن جدا گردد. سپس مدتی در آبکش قرار داده شد تا آب آن به طور کامل گرفته شود. بعد از آن سیب‌زمینی، مرحله پوست‌گیری را طی کرده و توسط دستگاه لایه‌کن دستی به ورقه‌هایی با ضخامت‌های ۱، ۲ و ۳ میلی‌متر برش داده شد. جهت یکسان بودن مساحت ورقه‌های سیب‌زمینی از یک قالب استوانه‌ای فلزی به قطر ۵ سانتی‌متر استفاده شد. ورقه‌های سیب‌زمینی بر روی سینی مشبک درون دستگاه خشک‌کن با فواصل مساوی چیده شدند، به طوری که روی سینی تنها یک لایه از نمونه‌های ورقه شده، قرار گیرد. نمونه‌ها قبل از چیده شدن روی سینی خشک‌کن توزین می‌شدند، همچنین در طی خشک شدن وزن کل ورقه‌های نازک سیب‌زمینی با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت گردید.

۲-۱- اندازه‌گیری رطوبت

برای اندازه‌گیری محتوای رطوبت سیب‌زمینی‌ها از روش استاندارد انجمن شیمی آمریکا (AOAC, 1990) استفاده گردید. در این حالت، نمونه‌های ۲۵ گرمی به کمک آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. این روند چندین مرحله تکرار شد تا محتوای رطوبتی سیب‌زمینی‌ها در حدود ۱۱/۷۷٪ بر پایه تر بدست آمد.



۲-۲- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی که به آن معماری اطلاق می‌گردد به شکلی است که نرون‌ها^۱ در دسته‌هایی که لایه نام دارند، مرتب می‌شوند. معماری معمول شبکه عصبی متشکل از سه لایه است، لایه ورودی (داده‌ها را در شبکه توزیع می‌کند)، لایه پنهان (داده‌ها را پردازش می‌کند) و لایه خروجی (نتایج را به ازای ورودی‌های مشخص استخراج می‌کند). یک شبکه می‌تواند از یک یا چند لایه پنهان تشکیل شود. طراحی معماری شبکه عصبی به طور عموم بر مبنای روش سعی و خطا است و طی آن با استفاده از ارقام مختلف لایه‌های پنهان و نرون‌های مربوطه، شبکه بهینه را می‌توان تعیین نمود (منهاج، ۱۳۸۷). با توجه به توانایی شبکه‌های عصبی در پردازش همزمان و موازی داده‌های متعدد، ضبط و مهار متغیرهای مختلف و مؤثر بیشتر امکانپذیر است. این خصیصه باعث می‌شود تا مدل شبکه عصبی مصنوعی به جای تلاش برای انطباق الگوی ارتباطی بین ورودیها با توابع و منحنی‌های رایج، منحنی اصلی را از طریق پردازش تمام داده‌های موجود و روابط بین آنها شناسایی و سپس تابع مطلوب را استخراج کند. بنابراین، در پژوهش‌هایی که اثرات غیرقابل اثبات با روشهای آماری کلاسیک به شکل تفاوت‌هایی که معنادار نیستند نشان داده می‌شوند مدل شبکه عصبی می‌تواند مفید باشد، زیرا در این مدل به جای توجه به عواملی که سهم بزرگی دارند سهم تمامی عوامل وارد شده در پردازش لحاظ می‌شود و امکان تحلیل داده‌هایی که دارای روابط بسیار پیچیده هستند نیز وجود دارد (شادنیا، ۱۳۸۳).

در شبکه پرسپترون چند لایه تعداد نرون‌های لایه ورودی برابر با تعداد عناصر بردار ورودی و تعداد نرون‌های لایه خروجی برابر با تعداد عناصر بردار خروجی می‌باشد. آنالیز دقیق و واقعی برای پیدا کردن تعداد نرون‌های لایه میانی در کل بسیار پیچیده است اما می‌توان گفت که تعداد نرون‌های لایه میانی تابعی از عناصر برداری ورودی می‌باشد. از این رو تعداد نرون‌های لایه مخفی عموماً بطور تجربی بدست می‌آید. تعداد لایه‌های میانی و نرون‌های لایه میانی بایستی به تعدادی انتخاب شود که مقدار خطای خروجی شبکه کمترین مقدار باشد، به عبارتی شبکه بهینه حاصل شود. هر نرون توسط خروجی خود به نرون‌های لایه بعد متصل شده، ولی با نرون‌های لایه خودش ارتباط ندارد. خروجی هر نرون لایه پنهان (j) توسط رابطه (۱) تعریف گردید (Heristev, 1998).

$$a = f \left(\sum_{i=1}^n p_i w_{j,i} + b_j \right) \quad (1)$$

در این روابط مقدار وزن اتصال بین نرون j ام لایه مذکور با نرون i ام لایه قبل است که بیانگر اهمیت ارتباط بین دو نرون در دو لایه متوالی می‌باشد، b_j وزن مربوط به بایاس^۲ برای نرون j ام، n تعداد نرون‌های لایه خارجی، p_i مقدار خروجی از نرون i ام لایه قبل، a مقدار خروجی از نرون j ام و f تابع آستانه نرون i ام.

وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود از این رو داده‌های ورودی به شبکه بایستی نرمال شود. در صورتی که این مرحله انجام نشود، شبکه در طول فاز آموزش همگرا نخواهد شد و نتایج مطلوب تولید نخواهد شد. از این رو برای نرمالیزه کردن داده‌ها از رابطه (۲) استفاده شده است. که ورودی‌ها را بین ۰ و ۱ استاندارد

¹ Neurons

² Bias



می‌نماید. در نهایت می‌توان خروجی شبکه را با معکوس نمودن الگوریتم استانداردسازی، به حالت اولیه برگرداند (مختاریان و همکاران، ۱۳۹۰).

$$X_n = (X_0 - \mu) / S \quad (2)$$

در این معادله، X_0 داده اصلی، X_n داده نرمال شده، μ و S به ترتیب میانگین و انحراف استاندارد داده اصلی است. در این تحقیق، دو آرایش شبکه عصبی با نام‌های شبکه عصبی اول و شبکه عصبی دوم جهت پیش‌بینی تغییرات رطوبت نسبت به زمان خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی مورد استفاده قرار گرفت. در شبکه اول، ورودی‌های شبکه شامل ضخامت ورقه، توان لامپ مادون قرمز، فشار مطلق و زمان خشک کردن. در شبکه دوم، ورودی‌های شبکه شامل ضخامت ورقه، توان لامپ مادون قرمز، فشار مطلق، زمان خشک کردن و محتوای رطوبتی محصول در نظر گرفته شد.

۲-۲-۱- فرآیند یادگیری و انتخاب تابع عملکرد بهینه

برای مدل‌سازی شبکه عصبی، داده‌های بدست آمده در مدت آزمایش‌ها به سه قسمت تقسیم شدند یک قسمت برای آموزش شبکه و قسمت دیگر برای اعتبارسنجی مدل و نهایتاً قسمت سوم برای آزمایش شبکه استفاده شده، بکار برده شد (Tripathy and Kumar, 2008). داده‌های مورد استفاده برای آموزش شبکه شامل ۶۰ درصد داده‌ها و باقیمانده داده‌ها ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی و ۲۰ درصد برای تست شبکه به‌کار گرفته شد. اصلی‌ترین متغیر در معماری این شبکه‌ها که امکان دستکاری آن به منظور دستیابی به شبکه بهینه با کمترین ساختار و بیشترین قابلیت پیش‌بینی وجود داشت، تعداد لایه‌های میانی و تعداد نرون‌ها در این لایه بوده است. برای پیدا کردن بهترین پیش‌بینی‌ها، شبکه‌های مختلفی بر داده‌های مذکور اعمال شدند. برای طراحی و آزمون شبکه عصبی مصنوعی از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار MATLAB نسخه 2014a استفاده گردید. پارامترهای ترکیبی مانند نوع الگوریتم یادگیری، تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌ها در لایه پنهان، تعداد چرخه آموزش، ضریب یادگیری و اندازه حرکت در طی فرآیند آموزش شبکه عصبی به روش آزمون و خطا تعیین شد. بررسی قابلیت تعمیم شبکه عصبی آموزش دیده، گام آخر در توسعه مدل شبکه عصبی مصنوعی بود. در این مرحله مدل‌های شبکه عصبی آموزش دیده به وسیله مجموعه داده‌های آزمون که مستقل از داده‌های آموزش است مورد بررسی قرار گرفت. برای یافتن شبکه‌ای با معماری مناسب به کمک الگوریتم آموزشی لونیبرگ-مارکواریت، از معیارهای ضریب تبیین و خطای مربعات میانگین استفاده شد. در درجه اول مقادیر ضریب تبیین (R^2) و میانگین مربعات خطا (MSE) در هر یک از شبکه‌های ایجاد شده مورد بررسی قرار گرفتند که از رابطه (۳) و (۴) برآورد شدند و در نهایت شبکه‌ای مورد پذیرش قرار می‌گرفت که بیشترین ضریب تبیین و کمترین میانگین مربعات خطا را داشته باشد (Heristev, 1998).

$$MSE = \frac{\sum_{p=1}^M \sum_{i=1}^N (S_{ip} - T_{ip})^2}{n_p \times n_o} \quad (3)$$



$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{ip=1}^N (S_{ip} - T_{ip})}{\sum_{ip=1}^N (S_{ip} - T_{ip})} \quad (4)$$

در این معادلات، R^2 و MSE به ترتیب ضریب تبیین و میانگین مربعات 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_p تعداد الگوها، n_o تعداد نرون‌های لایه خروجی، N تعداد نرون‌های خارجی و M تعداد الگوهای آموزشی است.

نتایج و بحث

در این پژوهش ترکیبی از لایه‌ها و نرون‌های مختلف همراه با توابع فعال‌سازی مختلف برای مدل‌سازی شبکه‌ی عصبی پرسپترون مورد استفاده قرار گرفت. شبکه‌ی عصبی با یک لایه‌ی پنهان، تعداد ۱ تا ۳۰ نرون به طور تصادفی انتخاب و قدرت شبکه در پیش‌بینی نسبت رطوبت ورقه سیب‌زمینی تخمین زده شد. برای آموزش شبکه پرسپترون از الگوریتم یادگیری لوبنبرگ-مارکوارت استفاده گردید. نتایج حاصل از بهینه‌سازی شبکه‌ی عصبی پرسپترون همراه با توابع آستانه‌ی لگاریتم سیگموئید و تانژانت سیگموئید همراه چیدمان‌های بدست آمده در جدول (۱) نشان داده شده است. نوع تابع انتقال به کار رفته بین بردار ورودی و لایه میانی از نوع سیگموئیدی و بین لایه میانی و لایه خروجی از نوع تابع خطی است.

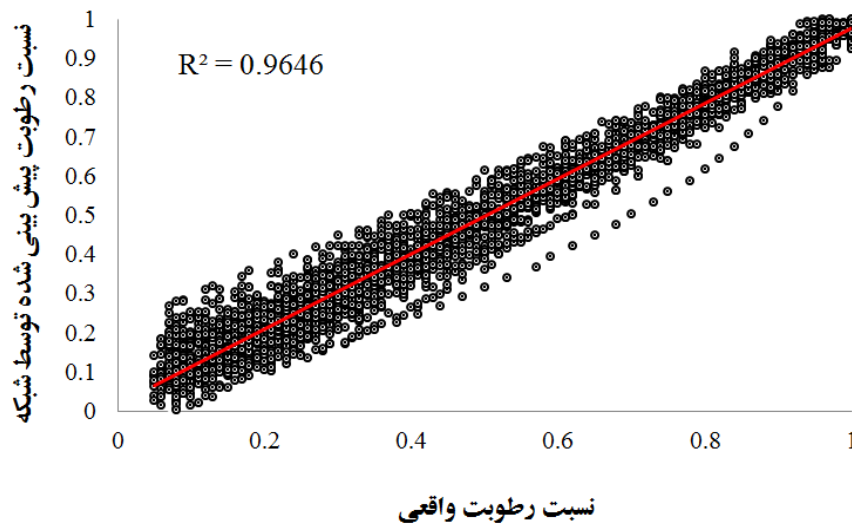
جدول ۱- شبکه‌های طراحی شده با استفاده از الگوریتم یادگیری لوبنبرگ-مارکوارت

تعداد ایج	میانگین مربعات خطا (آزمایش)	میانگین مربعات خطا (ارزیابی)	میانگین مربعات خطا (آموزش)	ضریب همبستگی (آزمایش)	ضریب همبستگی (ارزیابی)	ضریب همبستگی (آموزش)	خطای آموزش	چیدمان شبکه	تعداد نرون در لایه پنهان	تابع فعال سازی	شبکه
۲۷	۰/۰۳۲۶	۰/۰۳۶۴	۰/۰۳۵۷	۰/۹۸۲۰۹	۰/۹۸۲۶	۰/۹۸۲۰۴	۰/۰۳۸۳۰۷	۴-۴-۱	۴	تانژانت سیگموئید	شبکه عصبی اول
۴۲	۰/۰۴۰۸	۰/۰۳۷۳	۰/۰۳۷۹	۰/۹۸۱۴۷	۰/۹۸۲۴۴	۰/۹۸۱۸۸	۰/۰۴۶۰۶۲	۴-۴-۱	۴	لگاریتم سیگموئید	
۷۹۴	۰/۰۰۱۰۰۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۸۷۲	۰/۹۹۹۵۵	۰/۹۹۹۴۵	۰/۹۹۹۵۴	۰/۰۰۰۸۹۷	۵-۲-۱	۲	تانژانت سیگموئید	شبکه عصبی
۳۴۷	۰/۰۰۰۶۱۸	۰/۰۰۰۶۶۲	۰/۰۰۰۵۹۳	۰/۹۹۹۶۸	۰/۹۹۹۶۹	۰/۹۹۹۶۷	۰/۰۰۰۶۰۷	۵-۴-۱	۴	لگاریتم سیگموئید	دوم

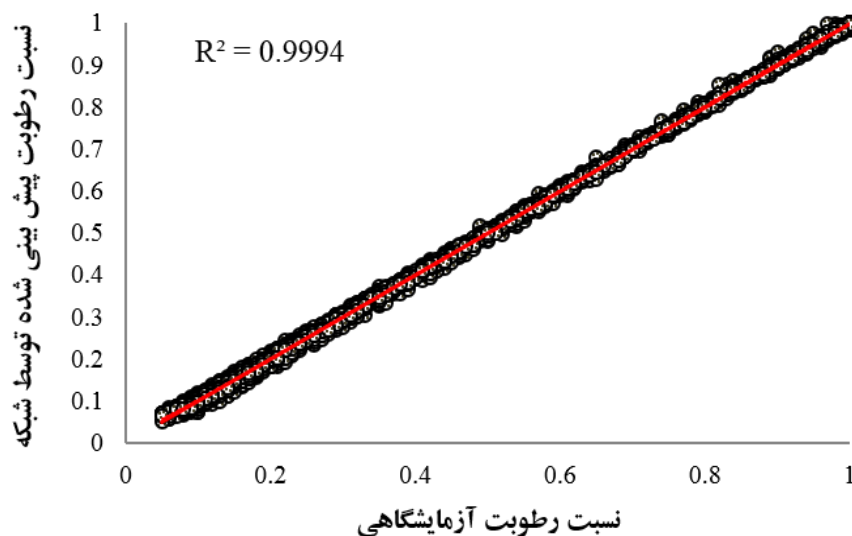
همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده است، هر دو شبکه‌ی عصبی اول و دوم با ۴ نرون در لایه پنهان به ترتیب با توابع انتقال تانژانت سیگموئید و سیگموئید لگاریتمی با چیدمان ۴-۴-۱ و ۵-۴-۱ دارای کم‌ترین میانگین مربعات خطا و بالاترین ضرایب همبستگی شبکه هستند.



در شکل‌های (۲) و (۳) نموداری که نشانگر بهترین خط برازش یافته بین مقادیر واقعی نسبت رطوبت و مقدار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی اول و دوم می‌باشد، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود شبکه عصبی دوم با ۴ نرون در لایه میانی و تابع آستانه‌ی لگاریتم سیگموئید توانسته است با بیشترین ضریب رگرسیون، نسبت رطوبت ورقه‌های سیب‌زمینی را تخمین بزند. این شبکه با چیدمان ۱-۴-۵ دارای بیشترین شیب، کم‌ترین عرض از مبدأ و بیشترین ضریب همبستگی است. این مقادیر به ترتیب ۰/۹۹۹۶، ۰/۰۷۱۸۷۴ و ۰/۹۹۹۷ می‌باشد. خط قرمز مربوط به بهترین خط برازش یافته از بین نقاط داده‌های واقعی (آزمایشگاهی) و پیش‌بینی شده است. به این صورت که همه نقاط حول یک خط راست ۴۵ درجه با ضریب تبیین ($R^2 = 0.9994$) بسیار بالا قرار گرفته‌اند. هر چه نقاط داده‌ها به این خط نزدیک‌تر باشد بیانگر برازش عالی و برآورد دقیق خروجی‌های شبکه خواهد بود.



شکل ۲- نمودار رگرسیون شبکه عصبی اول با ۴ نرون در لایه پنهان



شکل ۳- نمودار رگرسیون شبکه عصبی دوم با ۴ نرون در لایه پنهان



با توجه به شبکه عصبی انتخاب شده جهت پیش‌بینی نسبت رطوبت ورقه‌های سیب‌زمینی که به صورت ۱-۴-۵ می‌باشد، ماتریس وزن برای بردار ورودی به لایه پنهان یک ماتریس هسین 4×5 (اتصال ۵ نرون ورودی به ۴ نرون لایه پنهان) و برای لایه پنهان به لایه خروجی به صورت یک ماتریس هسین 1×4 (اتصال ۴ نرون لایه پنهان به ۱ نرون لایه خروجی) به ترتیب به صورت ماتریس‌های A و B خواهند بود.

A=

$$\begin{pmatrix} -3.495 & 0.039 & 0.263 & -1.310 & -1.236 \\ 1.321 & -6.968 & 8.724 & -1.534 & -0.235 \\ 1.207 & -6.984 & 8.613 & -1.455 & -0.166 \\ -1.385 & 0.033 & 0.117 & -0.581 & -0.517 \end{pmatrix}$$

B=

$$\begin{bmatrix} -18.866 & 1.842 & -1.845 & -1.945 \end{bmatrix}$$

در ضمن ماتریس بایاس برای بردار ورودی به لایه پنهان به صورت یک ماتریس هسین 4×1 (ماتریس C) و برای لایه پنهان به لایه خروجی به صورت یک ماتریس هسین 1×1 (ماتریس D) خواهد بود.

C=

$$\begin{pmatrix} 6.075 \\ 0.526 \\ 0.552 \\ 0.940 \end{pmatrix}$$

D=

$$\begin{bmatrix} 19.587 \end{bmatrix}$$

کاوه و امیری چایجان (۱۳۹۲) در تحقیقی به پیش‌بینی نسبت رطوبت توت سفید طی فرآیند خشک کردن به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند. در این مطالعه چهار عامل موثر دمای هوای ورودی، سرعت هوای ورودی، توان مادون قرمز و زمان به عنوان متغیرهای مستقل برای شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شد. یافته‌ها نشان داد که بهترین نتایج برای شبکه پس انتشار پیشخور با توپولوژی ۲-۵-۵-۴ و الگوریتم آموزش لوبنبرگ-مارکوارت با تابع انتقال لگاریتم سیگموئید برای نسبت رطوبت حاصل شد. میزان ضریب تبیین نسبت رطوبت توت سفید در این پژوهش 0.9971 بدست آمد.



نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیر سه پارامتر توان تابشی لامپ مادون قرمز، فشار مطلق و ضخامت لایه بر روی پروسه خشک کردن سیب‌زمینی مورد مطالعه قرار گرفت. جهت بررسی تخمین نسبت رطوبت به کمک شبکه عصبی مصنوعی از شبکه پرسپترون چند لایه با الگوریتم یادگیری لونیگ-مارکواریت و توابع آستانه سیگموئیدی استفاده گردید. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با تابع فعالسازی لگاریتم سیگموئید با ۴ نرون در لایه پنهان توانست مقدار نسبت رطوبت را با ضریب تبیین ۰/۹۹۹۴ پیش بینی نماید.

منابع و مآخذ

۱. بهارلوئی، ا. امید، م. احمدی، ح. و رفیعی، ش. ۱۳۸۶. پیش‌بینی محتوای رطوبتی پسته رقم اکبری با شبکه عصبی مصنوعی. مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران. ۳: ۴۵-۶۵.
۲. بهروزی‌خزایی، ن. توکلی هسجین، ت. امیری چایجان، ر. و خوش تقاضا، م. ۱۳۸۶. بررسی شاخص‌های مهم خشک شدن انگور در روش خشک کردن با جریان هوای گرم به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجله پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، جلد ۷. شماره ۳: ۱۵۴-۱۴۱.
۳. سلیمانی‌فرد، ص. ۱۳۸۸. مدل‌سازی همدماهای جذب و دفع رطوبت پسته واریته اوحدی و بهینه‌سازی شرایط خشک کردن آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. شادنیا، ه. ۱۳۸۳. شبکه‌های عصبی مصنوعی و کاربرد آن در تجزیه و تحلیل داده‌ها در علوم پزشکی. تهران. مرکز ملی تحقیقات علوم پزشکی.
۵. شایگانی سلطان‌پور، ع. ر. گل‌محمدی، ع. فرهپور، ف. و خلیفه، ع. ۱۳۸۹. توسعه مدل پیش‌بینی زمان خشک شدن موز در طی فرآیند خشک کردن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۶. کاوه، م. و امیری چایجان، ر. ۱۳۹۲. پیش‌بینی برخی خصوصیات خشک کردن توت سفید به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی. اولین همایش ملی علوم کشاورزی. دانشگاه پیام نور. استان آذربایجان غربی - مرکز نقده.
۷. متولی، ع. مینایی، س. خوش تقاضا، م. ه. کاظمی، م. و نیکبخت، ع. ۱۳۸۹. مقایسه پیش‌بینی مدل‌های ریاضی و شبکه‌های عصبی در خشک کردن دانه انار. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج).
۸. مختاریان، م. شفافی زنونزبان، م. و کوشکی، ف. ۱۳۹۰. بررسی سینتیک خشک کردن هوای داغ کدوی سبز با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی و تابع پایه شعاعی. بیستمین کنگره‌ی علوم و صنایع غذایی ایران. دانشگاه صنعتی شریف (تهران). ۱-۱۵.
۹. منهاج، م. ح. ۱۳۸۷. مبانی شبکه‌های عصبی (هوش محاسباتی). جلد اول. چاپ هشتم. مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). ۷۱۵ صفحه.



10. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. No. 934-06. Association of Official Chemists. Washington, DC.
11. Broyart, B. and Trystram, G. 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 Engineers Trans. IchemE. Vol, 81, Pt. C.
12. Cubillos, F. and Reyes, A. 2003. Design of a model based on a modular neural network approach. Drying Technology. vol 21(7),1185-1195.
13. Heristev, R.M. 1998. The ANN Book. GNU Public License. USA.
14. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
15. Maskan, M. 2001. Drying shrinkage and rehydration characteristics of kiwi fruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering. vol 35, 267-280.
16. 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. vol 72(1), 42-47.
17. Tripathy, P. and Kumar, S. 2008. Neural network approach for food temperature prediction during solar drying. International Journal of thermal science. vol 48,1452-1459.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Estimating moisture content of the Potato Slice in the Infrared-Vacuum Combinatorial Dryer using Artificial Neural Networks

Abstract

The purpose of this study is to predict the moisture content of potato slices during vacuum drying process with infrared as a function of the drying time, infrared radiation, absolute pressure, slice thickness and moisture content of the product with the help of artificial neural networks. Experiments on infrared lamp power levels 100, 150 and 200 watts, absolute pressure levels of 20, 80, 140 and 760 mm Hg with three thick slices 1, 2 and 3 mm in the three repetition were used. A multi-layer neural network Perceptron Back Propagation with learning algorithm Levenberg-Marquardt for patterns training to predict moisture changes with time during the drying process was used. The best of the first neural network layout based on a hidden layer with the sigmoid tangent activation function as 4-4-1 and for the second neural network with logarithmic sigmoid transfer function as 5-4-1. In General, the results indicated that second neural network with such arrangement and the determination coefficient of 0.9994 has provide better results in order to predict the moisture content potato slices.

Keywords: Potato, Drying, Moisture Content, Multi-layer Neural Network Perceptron, Levenberg-Marquardt Algorithm