



پیش‌بینی مقدار رطوبت برش‌های سیر هنگام خشک‌کردن فرسرخ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

نوید گودینی^۱، اشرف گوهری اردبیلی^{۲*} و فخرالدین صالحی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۶

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی بهار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
^۲ به‌ترتیب استادیار و دانشیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی بهار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: a.gohari@basu.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: خشک‌کردن یک عملیات واحد با مصرف انرژی زیاد در نگهداری مواد غذایی است که رطوبت اضافی را حذف و ماندگاری محصولات غذایی را افزایش می‌دهد. یکی از روش‌های خشک‌کردن مواد غذایی، استفاده از خشک‌کن فرسرخ است. با استفاده از این روش، سرعت خشک شدن بهبود می‌یابد، غذاها سریع‌تر خشک می‌شوند، مصرف انرژی کاهش می‌یابد و کیفیت محصول تا حد زیادی حفظ می‌شود. شبکه عصبی مصنوعی به دلیل توانایی عالی و مقدار خطای ناچیز در پیش‌بینی متغیرهای وابسته هنگام فرآوری مواد غذایی، امروزه کاربرد زیادی پیدا کرده است. هدف: هدف از این پژوهش استفاده از خشک‌کن فرسرخ جهت افزایش سرعت فرآیند خشک‌کردن برش‌های سیر، بررسی سرعت خروج رطوبت از نمونه‌ها و همچنین مدل‌سازی فرآیند خشک شدن به روش شبکه عصبی مصنوعی است. روش کار: در این مطالعه اثر زمان قرارگیری نمونه‌ها در خشک‌کن فرسرخ، فاصله نمونه‌ها از لامپ فرسرخ (در سه سطح ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر) و ضخامت نمونه‌ها (در سه سطح ۳، ۶ و ۹ میلی‌متر) بر تغییر محتوای رطوبت برش‌های سیر درون یک خشک‌کن فرسرخ در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده از فرآیند خشک‌کردن فرسرخ برش‌های سیر، برای آموزش و ارزیابی شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. نتایج: نتایج نشان داد که با کاهش فاصله نمونه‌ها از لامپ فرسرخ و همچنین کاهش ضخامت نمونه‌ها، مقدار رطوبت خارج شده از نمونه‌ها افزایش و زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. زمان لازم برای رسیدن مقدار رطوبت برش‌های سیر با ضخامت ۹ میلی‌متر به حدود ۱۰ درصد در فواصل ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر به ترتیب برابر ۵۰، ۵۴ و ۶۴ دقیقه بود. همچنین زمان لازم برای خشک شدن برش‌های سیر با ضخامت‌های ۳، ۶ و ۹ میلی‌متر به ترتیب برابر ۲۸، ۳۳ و ۴۰ دقیقه بود (فاصله نمونه‌ها از لامپ پرتودهی برابر ۱۰ سانتی‌متر). این فرآیند توسط یک شبکه عصبی مصنوعی با ۳ ورودی (زمان خشک کردن با فرسرخ، فاصله نمونه‌ها از لامپ فرسرخ و ضخامت نمونه‌ها) و ۱ خروجی (محتوای رطوبت) مدل‌سازی شد. نتیجه‌گیری نهایی: بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته روی داده‌های آزمایشگاهی، شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون با ساختار ۱-۱۲-۳، با ضریب همبستگی ۰/۹۶۴ و مقدار میانگین مربعات خطای ۲۰/۶۳۷ مناسب‌ترین شبکه برای تخمین محتوای رطوبت برش‌های سیر هنگام خشک شدن درون خشک‌کن فرسرخ است.

واژگان کلیدی: برش‌های سیر، زمان خشک کردن، شبکه عصبی مصنوعی، ضریب همبستگی

مقدمه

سیر (*Allium sativum* L.) یکی از گیاهان ادویه‌ای است که در سراسر دنیا کشت شده و به‌عنوان ادویه یا چاشنی در سراسر جهان استفاده می‌شود. حبه سیر تازه دارای رطوبت بالایی در حدود ۷۰ درصد است که به دلیل آلودگی میکروبی به‌راحتی فاسد می‌شود (مالاکار و همکاران ۲۰۲۱). همچنین جوانه زدن و پوسیدگی از عوامل اصلی تلفات در هنگام نگهداری سیر تازه است. سیر غنی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، ترکیبات فنلی و ترکیبات ضد میکروبی است. فاسد شدن حبه سیر را می‌توان با کاهش رطوبت آن با استفاده از خشک‌کردن برای نگهداری ایمن و تبدیل آن به پودر برای مصرف آینده بررسی کرد. پژوهشگران محدوده دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس را برای خشک‌کردن حبه سیر توصیه کرده‌اند تا ویژگی‌های کیفی و حسی آن در طول فرآیند خشک‌کردن افت زیادی نکند (شارما و پراساد ۲۰۰۶؛ ژو و همکاران ۲۰۱۷؛ مالاکار و همکاران ۲۰۲۱). فرآیند خشک‌کردن سیر باید به‌گونه‌ای باشد تا کیفیت محصول نهایی از نظر رنگ، عطر، طعم و مواد تشکیل‌دهنده تا حد امکان حفظ شود (بیات ۲۰۰۶؛ آلولا و همکاران ۲۰۲۱). در زمینه خشک‌کردن سیر، رسولی و سیدلو (۲۰۱۲) تغییرات و مدل‌سازی ریاضی چروکیدگی سیر در طی خشک‌کردن به‌صورت همرفتی را بررسی کرده‌اند. در این پژوهش، لایه‌های نازک سیر در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و ضخامت‌های ۲، ۳ و ۴ میلی‌متر در خشک‌کن هوای داغ آزمایشگاهی با سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه خشک شدند. نتایج بررسی تغییرات درصد چروکیدگی طی خشک شدن در دماهای مختلف هوا و ضخامت ورقه‌ها نشان داد که اثر دمای هوای خشک‌کن و نیز ضخامت ورقه‌ها روی چروکیدگی محصول معنی‌دار نیست و چروکیدگی فقط تابعی از میزان رطوبت محصول می‌باشد.

یکی از روش‌های خشک‌کردن مواد غذایی، استفاده از خشک‌کردن‌های فروسرخ است. هنگامی که نمونه‌ها در معرض پرتوهای فروسرخ قرار می‌گیرند، تابش را جذب می‌کنند که منجر به گرمایش مولکولی یکنواخت در محصول بدون تأثیر بر دمای هوای محفظه خشک‌کن می‌شود. در نتیجه، سرعت خشک شدن بهبود می‌یابد، غذاها سریع‌تر خشک می‌شوند، مصرف انرژی کاهش می‌یابد و کیفیت محصول تا حد زیادی حفظ می‌شود (دویماز و همکاران ۲۰۱۵؛ صالحی ۲۰۲۰b). کیفیت محصولات خشک‌شده به روش فروسرخ مناسب بوده و نمونه‌های خشک‌شده به این روش رنگ و ظاهر مناسبی دارند. برای مثال، دهقانی‌خیای و همکاران (۱۳۹۹) از روش‌های هیبریدی جهت خشک‌کردن سیب‌زمینی و مطالعه ویژگی‌های کیفی محصول خشک‌شده استفاده کردند. در بین روش‌های بررسی شده در این پژوهش (هوای داغ- ماکروویو- فروسرخ)، سیب‌زمینی‌های خشک‌شده با روش هوای داغ- فروسرخ رنگ بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشتند.

هدف استفاده از شبیه‌سازی یا مدل‌سازی در فرآیند خشک‌کردن محصولات کشاورزی در واقع تبدیل کیفیت‌های فیزیکی و رابطه متقابل این کیفیت‌ها به کمیت‌های عددی و روابط ریاضی است. بدین ترتیب یک مدل شامل متغیرها و مجموعه معادلات وابسته به آنهاست که می‌تواند تأثیر متقابل این متغیرها را همان‌طور که در دنیای واقعی اتفاق می‌افتد، نشان دهد (کرمی و همکاران ۱۴۰۰). از این رو، روشی مانند شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۱ وسیله بسیار مناسبی در تحلیل گری است که با توسل به آن می‌توان رفتار یک سیستم را پیش از اعمال واقعی تغییرات پیش‌بینی نمود. شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان مدل ماشین متصل^۲ شناخته می‌شود که می‌تواند فرآیندهای اساسی سیستم عصبی بیولوژیکی را برای مقابله با چیزهای خارجی شبیه‌سازی کند. این یک سیستم محاسباتی است که بر

مواد و روش‌ها

- تهیه برش‌های سیر

برای انجام آزمایش‌ها، سیر تازه (*Allium sativum* L.) با اندازه یکسان از شهر کرج تهیه گردید. برای تعیین رطوبت نمونه‌ها، برش‌های سیر درون خشک‌کن قرار گرفتند. رطوبت اولیه سیرها ۶۵ درصد بر پایه مرطوب بود. برای انجام فرآیند خشک‌کردن ابتدا سیرها به قطعاتی با ضخامت ۳، ۶ و ۹ میلی‌متر برش داده شدند.

- خشک‌کردن برش‌های سیر

جهت خشک‌کردن سیرهای برش خورده با ضخامت‌های ۳، ۶ و ۹ میلی‌متر از خشک‌کن فروسرخ با توان ۲۵۰ وات استفاده گردید. فاصله نمونه‌ها از سطح لامپ در سه فاصله ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر تنظیم شد. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی^۱ با دقت ۰/۰۱ ± گرم که در زیر خشک‌کن قرار گرفته بود، ثبت گردید. کاهش محتوای رطوبت سیرها، بر مبنای خشک در برابر زمان خشک‌کردن رسم و تأثیر تیمارهای مختلف خشک‌کردن بر آن مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، برش‌های سیر تا زمان رسیدن به ثبات وزن، داخل خشک‌کن قرار داشتند و تغییرات وزن آنها ثبت می‌شد. برای بیان زمان خشک شدن، مبنای رسیدن به ۱۰ درصد رطوبت بر پایه مرطوب بود، لذا زمان رسیدن به این مقدار رطوبت، به‌عنوان زمان خشک شدن برش‌ها، گزارش شد.

- طرح آماری

در این پژوهش اثر فاصله برش‌ها از لامپ فروسرخ در سه سطح ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر و اثر ضخامت برش‌ها بر فرآیند خشک شدن برش‌های سیر، در سه تکرار بررسی شد. تجزیه و تحلیل آماری در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ استفاده شد.

اساس علوم اعصاب مدرن، علوم کامپیوتر، زیست‌شناسی و سایر رشته‌ها توسعه یافته است و می‌تواند مغز و بافت عصبی انسان را شبیه‌سازی کند (صفری و همکاران ۲۰۰۹؛ صالحی ۲۰۲۰a). ساختار مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های تجربی جمع آوری شده شکل گرفته است، لذا می‌تواند داده‌ها را با دقت بالا نمایش و پیش‌بینی کند (انوود و همکاران ۲۰۱۶). کریمی و همکاران (۱۳۹۱) از روش شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن لایه‌نازک موز استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که داده‌های آزمایشگاهی به‌خوبی می‌توانند توسط شبکه عصبی مصنوعی برازش شوند (۰/۹۹۸۴/۲=). نعلبندی و سیدلو (۱۳۹۸) گزارش کردند که تغییر دمای هوای خشک‌کردن همرفتی و ضخامت ورقه‌های سیر، تغییرات رنگ نهایی نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ به‌طوری‌که کمترین تغییر رنگ کلی نمونه‌ها در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و در ضخامت ۲ میلی‌متری ورقه‌های سیر حاصل شده است. بر اساس نتایج این پژوهش، برای تولید سیر خشک با کیفیت بالا و رنگ شفاف و همچنین کاهش انرژی مصرفی از طریق کاهش زمان خشک شدن، باید از ورقه‌هایی با ضخامت کمتر و هوای گرمی با دمای متغیر در طول فرآیند استفاده شود. بر اساس بررسی‌های انجام شده، مقاله‌ای در زمینه پیش‌بینی مقدار رطوبت برش‌های سیر هنگام خشک‌کردن فروسرخ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی منتشر نشده است. لذا هدف این تحقیق بررسی اثر زمان خشک کردن با فروسرخ، فاصله نمونه‌ها از لامپ فروسرخ و ضخامت نمونه‌ها بر محتوای رطوبت برش‌های سیر هنگام خشک شدن در یک خشک‌کن فروسرخ و مدل‌سازی محتوای رطوبت نمونه‌ها (بر پایه وزن مرطوب) با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از روش‌های محاسباتی است که به کمک فرایند یادگیری و با استفاده از پردازشگرهایی به نام نرون تلاش می‌کند با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها، نگاشتی میان فضای ورودی (لایه ورودی) و فضای مطلوب (لایه خروجی) ارائه دهد. مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن سیر به روش فرسرخ جهت پیش‌بینی محتوای رطوبت (بر پایه وزن مرطوب) به روش شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیشخور انجام پذیرفت. این شبکه شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه مخفی و یک لایه خروجی است. برای آموزش شبکه‌های پرسپترون چند لایه از الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا بنام الگوریتم لوبنبرگ-مارکوارت به دلیل همگرایی سریع‌تر در آموزش شبکه، استفاده گردید. حداکثر تعداد تکرارهای لازم در فرایند یادگیری شبکه ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده و عملکرد شبکه به کمک معیار میانگین مربعات خطا مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه سه ورودی (زمان خشک کردن با فرسرخ، فاصله نمونه‌ها از لامپ فرسرخ و ضخامت نمونه‌ها) و یک خروجی (محتوای رطوبت) در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار نروسولوشن (ورژن ۵) جهت مدل‌سازی استفاده شد. در این نرم‌افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی (خطی، سیگموئیدی و تانژانت هیپربولیک)؛ تعداد نرون لایه پنهان (۲۰-۱) و تعداد داده‌های استفاده‌شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی بهترین ساختار شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد (امینی و همکاران، ۲۰۲۱).

آنالیز حساسیت عملی است که به ازای آن میزان و نحوه توزیع داده‌های ورودی با بیشترین تأثیر بر روی خروجی مدل مشخص شود. در واقع با تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی سبب کاهش مراحل سعی و خطا و شناخت مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر پدیده مورد نظر می‌گردد (قربانی و همکاران ۱۳۹۲). به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی

تأثیرگذارترین عامل در پیش‌بینی محتوای رطوبت برش‌های سیر، آزمون آنالیز حساسیت^۱ با استفاده از نرم‌افزار نروسولوشن بر روی شبکه بهینه انجام شد.

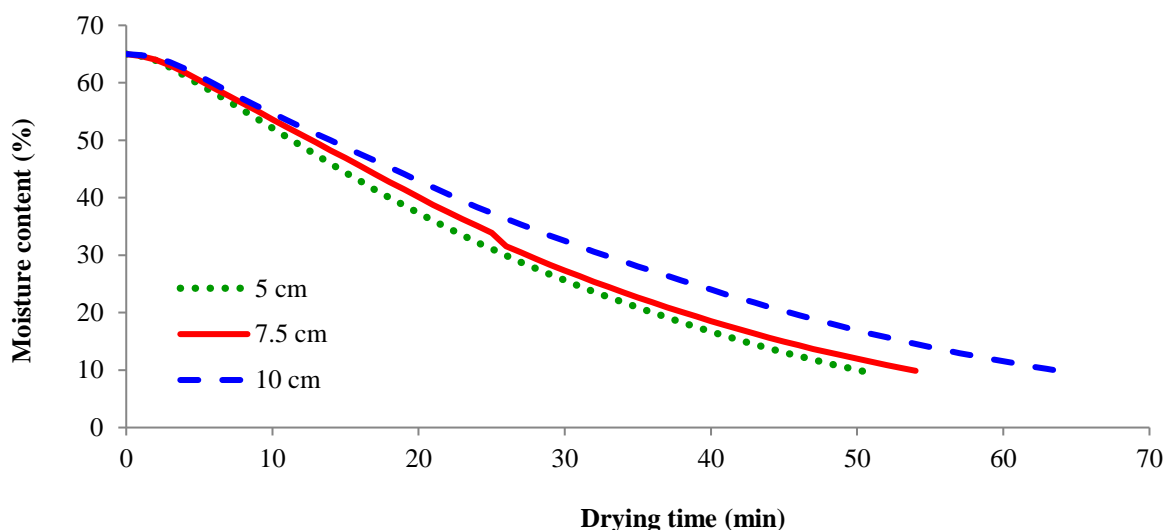
نتایج و بحث

- خشک‌کردن

در این پژوهش برش‌های سیر تا رطوبت حدود ۱۰ درصد خشک شدند. در شکل ۱ اثر فاصله نمونه‌ها از لامپ حرارت دهی بر تغییر محتوای رطوبت برش‌های سیر درون خشک‌کن فرسرخ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش فاصله نمونه‌ها از لامپ پرتو دهی، زمان خشک‌کردن طولانی‌تر شده است. زمان لازم برای رسیدن مقدار رطوبت برش‌های سیر با ضخامت ۹ میلی‌متر به حدود ۱۰ درصد در فواصل ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر به ترتیب برابر ۵۰، ۵۴ و ۶۴ دقیقه بود.

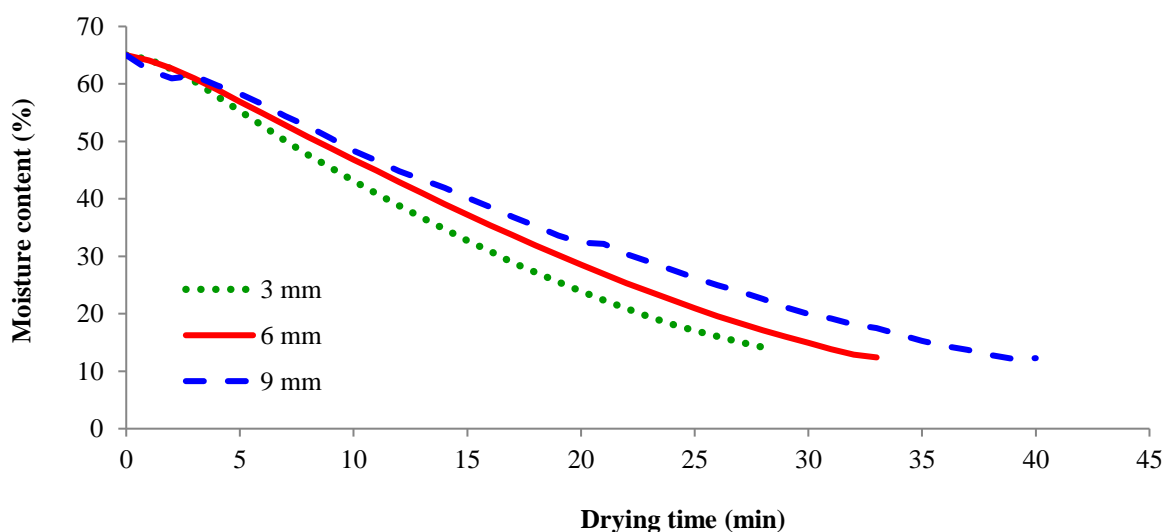
در شکل ۲ نیز اثر ضخامت نمونه‌ها بر تغییر محتوای رطوبت برش‌های سیر درون خشک‌کن فرسرخ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش ضخامت نمونه‌ها، زمان خشک‌کردن طولانی‌تر شده است. زمان لازم برای خشک شدن برش‌های سیر با ضخامت‌های ۳، ۶ و ۹ میلی‌متر به ترتیب برابر ۲۸، ۳۳ و ۴۰ دقیقه بود (فاصله نمونه‌ها از لامپ پرتو دهی برابر ۱۰ سانتی‌متر). در پژوهشی تأثیر توان لامپ پرتو دهی، دمای هوای داغ و ضخامت نمونه‌ها بر زمان و سینتیک خشک شدن طی خشک شدن کدو حلوائی در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط حسینی قابوس (۲۰۱۶) بررسی شده است. هم‌راستا با نتایج پژوهش ما، این پژوهشگران هم گزارش کردند که با افزایش ضخامت برش‌های کدو حلوائی، زمان خشک‌کردن افزایش یافته است. در پژوهش دیگری، یوسفی و همکاران (۲۰۱۹) سینتیک خشک‌کردن فرسرخ برش‌های میوه به و مدل‌سازی آن با روش الگوریتم ژنتیک-شبکه‌های عصبی مصنوعی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد

که با افزایش دمای خشک‌کن، زمان خشک‌کردن حدود کاهش می‌یابد.



شکل ۱- اثر فاصله نمونه‌ها از لامپ حرارت دهی بر تغییر محتوای رطوبت برش‌های سیر (ضخامت = ۹ میلی‌متر)

Figure 1- Effect of samples distance from heating lamp on the moisture content change of garlic slices (thickness = 9 mm).



شکل ۲- اثر ضخامت نمونه‌ها بر تغییر محتوای رطوبت برش‌های سیر (فاصله = ۱۰ سانتی‌متر)

Figure 2- Effect of samples thickness on the moisture content change of garlic slices (distance = 10 cm).

از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده از فرآیند خشک‌کردن فرسرخ برش‌های سیر، برای آموزش و ارزیابی شبکه استفاده شد. در حالت پس انتشار، ابتدا وزن‌های لایه خروجی تعدیل می‌شود، زیرا برای هر یک

نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی لایه یا لایه‌های مخفی، اطلاعات دریافت شده از لایه ورودی را پردازش کرده و در اختیار لایه خروجی قرار می‌دهند (قربانی و همکاران ۱۳۹۲). به‌منظور پیش‌بینی محتوای رطوبت برش‌های سیر درون سامانه فرسرخ

گزارش شده در جدول ۱ نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

در مجموع، شبکه عصبی مصنوعی دارای ۱۲ نرون در لایه پنهان می‌تواند به خوبی محتوای رطوبت در طی فرآیند خشک‌کردن سیر به روش فرسوخ را پیشگویی نماید (۲۰/۹۶۴). رسولی (۱۳۹۷) از شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی میزان رطوبت سیر در طی خشک‌کردن با هوای داغ استفاده کرد. برای این منظور شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه تحت عنوان پس انتشار پیشرو به کار گرفته شد. پارامترهای مهم از جمله دمای هوای خشک‌کردن (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس)، ضخامت ورقه‌ها (۲، ۳ و ۴ میلی‌متر) و زمان خشک‌کردن به عنوان ورودی و محتوای رطوبت به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که محتوای رطوبت سیر را می‌توان با استفاده از شبکه عصبی، با میانگین خطای متوسط کمتر و ضریب تبیین بیشتر نسبت به مدل ریاضی ویل پیش‌بینی کرد. نعمت‌پور ملک‌آباد و همکاران (۱۳۹۴) محتوای رطوبت پیاز خوراکی در طی فرآیند خشک‌کردن را با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، بهترین الگوریتم یادگیری لوبنبرگ-مارکوارت با کمترین مقدار خطا MSE انتخاب شده است. توپولوژی بهینه ۱-۱۰-۴ با تابع آستانه تانژانت سیگموئیدی و مقادیر خطای ۰/۰۱۳۳ و توپولوژی بهینه ۱-۶-۴ با تابع آستانه لگاریتم سیگموئیدی و مقادیر خطای ۰/۰۲۲ به دست آمدند. مقایسه ضریب تبیین و MSE نشان داد که شبکه عصبی با ساختار ۱-۱۰-۴ با تابع آستانه تانژانت سیگموئیدی برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی در مقایسه با توپولوژی‌های دیگر نتایج بهتری را ارائه کرده است.

از نرون‌های لایه خروجی، مقدار مطلوب وجود دارد و می‌توان به کمک آنها و قاعده‌های به هنگام سازی، وزن‌ها را تعدیل نمود (کریمی و همکاران ۱۳۹۱). در این پژوهش لایه ورودی شبکه شامل پارامترهای زمان خشک کردن با فرسوخ، فاصله نمونه‌ها از لامپ فرسوخ و ضخامت برش‌های سیر بود و لایه خروجی را هم پاسخ مورد نظر یعنی درصد رطوبت بر پایه مرطوب تشکیل می‌داد. با توجه به آزمودن شبکه‌های مختلف و بررسی نتایج آن مشاهده شد که الگوریتم پس انتشار خطا با توپولوژی‌های ذکر شده واجد بهترین نتیجه از نظر معیارهای در نظر گرفته شده برای شبکه عصبی است. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک در مقایسه با سایر توابع به دست آمد، این نوع تابع به عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی استفاده شد. بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۲۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد. ۲۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (۶۰ درصد) استفاده گردید.

تعداد نرون‌های موجود در لایه‌های ورودی و خروجی با توجه به ماهیت مسئله مورد بررسی مشخص شده، حال آن که تعداد نرون‌های موجود در لایه پنهان با آزمون و خطا در جهت کاهش مقدار خطا مشخص گردید. روند کار با تعداد نرون‌های کم آغاز و افزودن نرون‌های اضافی تا زمانی ادامه پیدا کرد که افزایش نرون‌های بیشتر تأثیری در بهبود خطا نداشت، بدین منظور از ۱ تا ۲۰ نرون در لایه پنهان استفاده گردید که شبکه‌ای با ۱۲ نرون در یک لایه پنهان به عنوان بهترین شبکه در فرایند مدل‌سازی بود (جدول ۱). مقادیر بالای ضریب همبستگی

جدول ۱- مقادیر خطاها در پیش‌بینی محتوای رطوبت برش‌های سیر (داده‌های ارزیابی) توسط شبکه عصبی مصنوعی بهینه دارای ۱۲ نرون در لایه پنهان

Table 1- The error values in prediction of moisture content of garlic slices (testing data) by optimal artificial neural network with 12 neurons in hidden layer

Hidden neurons	Error					
	Mean squared error (MSE)	Normalized Mean squared error (NMSE)	Mean absolute error (MAE)	Minimum absolute error	Maximum absolute error	Correlation coefficient (r)
1	27.811	0.101	4.290	0.003	16.349	0.949
2	24.065	0.087	3.873	0.001	12.124	0.957
3	21.460	0.078	3.564	0.020	14.135	0.961
4	22.179	0.081	3.598	0.009	13.258	0.960
5	22.740	0.079	3.709	0.003	14.942	0.960
6	23.841	0.083	3.740	0.009	13.526	0.958
7	21.668	0.075	3.666	0.017	14.407	0.962
8	22.389	0.078	3.684	0.002	14.497	0.961
9	22.621	0.079	3.660	0.011	14.469	0.961
10	22.419	0.078	3.624	0.001	14.536	0.961
11	20.943	0.072	3.509	0.011	15.137	0.963
12	20.637	0.070	3.494	0.012	15.512	0.964
13	20.975	0.072	3.562	0.014	14.667	0.963
14	21.386	0.074	3.573	0.026	15.448	0.963
15	20.677	0.071	3.524	0.001	15.074	0.963
16	21.101	0.073	3.610	0.009	14.708	0.963
17	21.364	0.074	3.504	0.006	16.990	0.963
18	21.040	0.073	3.531	0.001	15.722	0.963
19	21.327	0.074	3.566	0.027	15.705	0.963
20	21.167	0.073	3.574	0.002	15.220	0.963

بیان کرد که آموزش شبکه به بهترین شکل انجام پذیرفته است.

شبکه عصبی مصنوعی به دلیل مقدار خطای ناچیز و توانایی تقریب غیرخطی عالی خودآموزی و خودسازمان‌دهی، توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده است. شرایط استفاده شده برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی ایده‌آل بود زیرا ضریب همبستگی بیانگر انطباق کامل نقاط پیش-بینی شده بر نقاط داده‌های تجربی است و خطای بسیار پایین شبکه بیانگر بهترین شبکه پیش‌بینی ممکن یعنی تطابق شبکه بر هدف می‌باشد. مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۶۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیش‌بینی شده محتوای رطوبت سیر توسط شبکه عصبی بهینه (۳/۱۲/۱) در شکل ۴ نشان داده شده است.

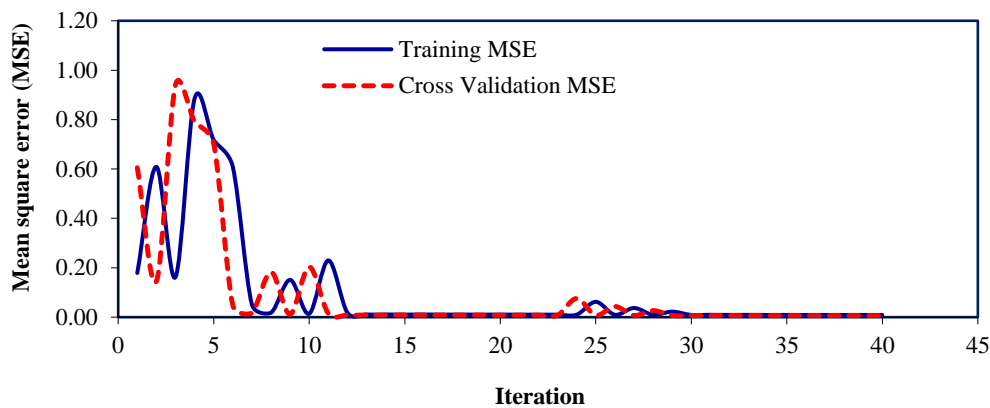
هدف از فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است

در این تحقیق برای مدل‌سازی فرآیند خشک شدن فرورسرخ برش‌های سیر از مدل شبکه عصبی مصنوعی از نوع شبکه پرسپترون چند لایه با یک لایه پنهان با تعداد نرون‌های متفاوت استفاده شد. علت انتخاب یک لایه پنهان، عدم ارتباط مستقیم لایه‌های میانی با خروجی شبکه و تأثیر ناچیز تغییرات لایه میانی در تعدیل وزن‌ها بود. تابع تانژانت هیپربولیک متداول‌ترین شکل از توابع محرک هست که در این تحقیق از آن برای ساخت شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. مقدار میانگین مربعات خطا در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۳ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بعد از تشکیل حدود ۲۹ سیکل (تکرار)، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد. کاهش سریع در نمودار میانگین مربعات خطا در سیکل‌های اولیه آموزش نشان از یادگیری سریع شبکه می‌باشد. در این شکل مشاهده می‌شود که خط آموزش و آزمون شبکه نزدیک به هم هستند. لذا می‌توان

ساترابی (۱۴۰۱) فرآیند خشک‌کردن برش‌های هلو پوشش داده‌شده با صمغ‌های دانه ریحان و گزانتان با سامانه فرورسرخ را به روش شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون انتشار برگشتی با ساختار ۳-۷-۱، با ضریب همبستگی ۰/۹۹۹ و مقدار میانگین مربعات خطای ۰/۳۱۲۳ مناسب‌ترین شبکه برای تخمین محتوای رطوبت هلو پوشش داده‌شده هنگام خشک شدن درون خشک‌کن فرورسرخ است.

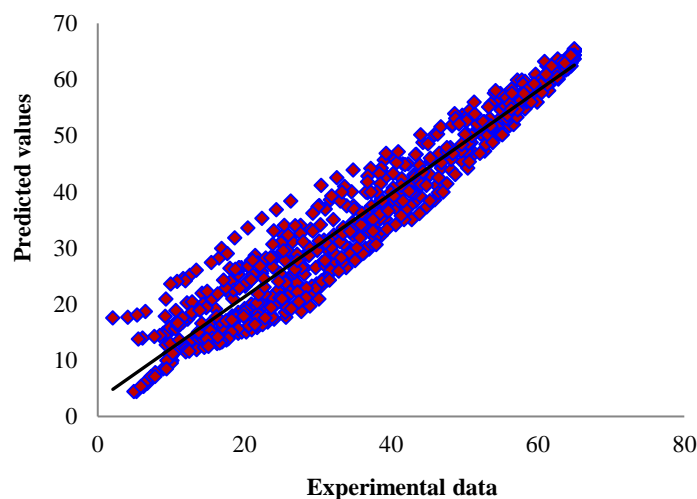
(امینی و همکاران، ۲۰۲۱). در جدول ۲، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای ۱۲ نرون در لایه پنهان آورده شده است.

یوسفی و همکاران (۲۰۱۹) سینتیک خشک‌کردن فرورسرخ برش‌های میوه به و مدل‌سازی آن با روش الگوریتم ژنتیک-شبکه‌های عصبی مصنوعی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه‌ای با تعداد ۷ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع انتقال تانژانت هیپربولیک می‌تواند درصد رطوبت در طی فرایند خشک‌کردن را با دقت بالایی پیشگویی کند. صالحی و



شکل ۳- مقادیر میانگین مربعات خطا به‌عنوان تابعی از تعداد سیکل‌های یادگیری طی فرآیند یادگیری و آزمون

Figure 3- Mean square error values as a function of the learning iterations number during training and validation



شکل ۴- داده‌های آزمایشگاهی محتوای رطوبت برش‌های سیر در برابر مقادیر پیش‌بینی شده

Figure 4- Experimental data of the moisture content of garlic slices versus predicted values

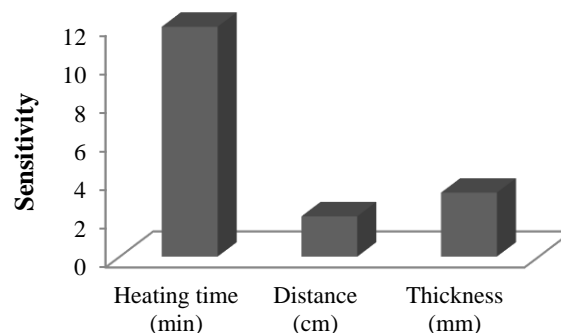
جدول ۲- مقادیر وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه برای پیش‌بینی محتوای رطوبت برش‌های سیر

Table 2- The weight and bias values of optimal neural network for predicting the moisture content of garlic

Hidden neurons	Bias	Input neurons			Output neurons
		Heating time (min)	Distance (cm)	Thickness (mm)	Moisture content (%)
1	-0.2200	-0.0320	0.7418	-0.0773	0.6408
2	-4.0079	-3.5601	-0.2687	-0.0723	2.5828
3	-0.5758	-3.2993	-0.5106	0.7981	-1.9894
4	0.2542	1.5348	0.3456	-0.0132	-1.3742
5	0.9462	4.2158	0.3948	-1.2221	-1.1226
6	1.9314	-0.1464	1.8995	-0.0395	1.2025
7	1.2122	-3.8492	0.9687	-1.8662	-0.0141
8	-0.0472	-2.1128	-0.8365	0.4389	0.6396
9	0.2707	-0.5154	0.9600	0.9267	0.7088
10	0.6715	-0.8448	2.0574	0.8616	-0.7009
11	1.3076	-0.2462	3.5486	-1.2925	-0.2325
12	1.2714	-0.1501	-0.4927	0.4340	0.3478
Bias					1.4031

فرورسرخ مورد بررسی قرار گرفت. متغیرهای ذکر شده بر مقدار رطوبت نمونه‌ها و سرعت خشک شدن برش‌های سیر مؤثر بودند. با کاهش فاصله نمونه‌ها از لامپ فرورسرخ و همچنین کاهش ضخامت نمونه‌ها، مقدار رطوبت خارج شده از نمونه‌ها افزایش و زمان خشک شدن کاهش یافت. مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی محتوای رطوبت به‌عنوان تابعی از زمان خشک کردن با فرورسرخ، فاصله نمونه‌ها از لامپ فرورسرخ و ضخامت نمونه‌ها طی خشک‌کردن به روش فرورسرخ استفاده گردید. بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته روی داده‌های مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار شبکه عصبی، شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون انتشار برگشتی با ساختار ۱-۱۲-۳، با ضریب همبستگی $r=0.964$ و مقدار میانگین مربعات خطای $MSE=20/637$ مناسب‌ترین شبکه برای تخمین محتوای رطوبت سیر هنگام خشک شدن درون خشک‌کن فرورسرخ بود. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که زمان حرارت دهی با پرتو فرورسرخ، بیشترین تأثیر را روی تغییر درصد رطوبت برش‌های سیر نسبت به سایر عوامل دارد و تأثیر متغیرهای دیگر کمتر است. در مجموع، استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی سینتیک خشک‌کردن و

همان‌طوری که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، به ترتیب زمان حرارت‌دهی، ضخامت نمونه‌ها و فاصله نمونه‌ها از لامپ فرورسرخ به‌عنوان مؤثرترین عوامل در هنگام پیش‌بینی محتوای رطوبت سیر طی خشک‌کردن به روش فرورسرخ می‌باشند.



شکل ۵- نتایج آنالیز حساسیت مدل‌سازی خشک‌کردن برش‌های سیر

Figure 5- Sensitivity analysis results of drying modeling of garlic slices

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر زمان خشک کردن با فرورسرخ، فاصله نمونه‌ها از لامپ فرورسرخ و ضخامت نمونه‌ها بر محتوای رطوبت برش‌های سیر به روش خشک‌کردن به روش

بررسی تغییرات رطوبت برش‌های سیر، به برنامه‌نویسی و توسعه سیستم‌های کنترل هوشمند که برای سیستم‌های فرآوری خودکار مواد غذایی بسیار مفید هستند، کمک می‌کند.

منابع مورد استفاده

- دهقانی‌خیای ه، خاکبازحشمتی م، دهقان‌نیا ج و باغبان ح، ۱۳۹۹، کاربرد روش‌های هیبریدی (هوای داغ- مایکروویو- مادون‌قرمز) جهت خشک‌کردن سیب‌زمینی و مطالعه ویژگی‌های کیفی محصول خشک‌شده. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۰(۲)، ۱۶۱-۱۴۳.
- رسولی م، ۱۳۹۷، خشک شدن همرفتی سیر (*Allium sativum* L.): رویکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۴(۳)، ۶۲-۵۲.
- صالحی ف و ساترابی م، ۱۴۰۱، مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن برش‌های هلو پوشش داده‌شده با صمغ‌های دانه ریحان و گزانتان با سامانه فرورسرخ. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۲(۳)، ۲۸-۱۷.
- قربانی م ع، نقی‌پور ل، کریمی و و فرهودی ر، ۱۳۹۲، آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر بر غلظت ازن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. سلامت و محیط زیست، ۶(۱)، ۲۲-۱۱.
- کریمی ح، لرستانی ع ن و تحویلیان ر. ۱۴۰۰، تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر سینتیک خشک شدن، مدل‌سازی ریاضی، کمیت و کیفیت اسانس آویشن. مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۸(۱۱۳)، ۱۳۵-۱۴۶.
- کریمی ف، دهقان‌نیا ج، قنبرزاده ب و رفیعی ش، ۱۳۹۱، مدل‌سازی خشک‌کردن لایه‌نازک موز و بهینه‌سازی فرآیند توسط شبکه عصبی مصنوعی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۲(۳)، ۳۶۰-۳۴۷.
- نعلبندی ح و سیدلو س ص، ۱۳۹۸، اثر تغییر دمای خشک‌کردن همرفتی بر کاهش مصرف انرژی و حفظ کیفیت ورقه‌های سیر. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۹(۴)، ۲۰۰-۱۸۵.
- نعمت‌پور ملک‌آباد ح، شیخ داودی م ج، خراسانی‌فردوانی ا و ذکی‌دیزجی ح، ۱۳۹۴، پیش‌بینی محتوای رطوبتی پیاز خوراکی در طی فرآیند خشک‌کردن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. مهندسی زراعی، ۳۸(۲)، ۱۶۱-۱۴۵.
- Alolga R N, Osaie R, Essilfie G, Saalia F K, Akaba S and Chikari F, 2021. Sonication, osmosonation and vacuum-assisted osmosonation pretreatment of Ghanaian garlic slices: Effect on physicochemical properties and quality characteristics, *Food Chemistry* 343: 128535.
- Amini G, Salehi F and Rasouli M, 2021. Drying kinetics of basil seed mucilage in an infrared dryer: Application of GA-ANN and ANFIS for the prediction of drying time and moisture ratio. *Journal of Food Processing and Preservation* 45(3): e15258.
- Bayat F, 2006. Effect of different drying conditions on quality of dried garlic slices, *Journal of Agricultural Engineering Research* 7: 31-46.
- Doymaz I, Kipcak A S and Piskin S, 2015. Characteristics of thin-layer infrared drying of green bean. *Czech Journal of Food Sciences* 33(1): 83-90.
- Hosseini Ghaboos SH, 2016. Production of pumpkin powder with vacuum-infrared system and its use in the formulation of sponge cake, *Food science and technology*. Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, p. 122.
- Malakar S, Arora V K and Nema P K, 2021. Design and performance evaluation of an evacuated tube solar dryer for drying garlic clove. *Renewable Energy* 168: 568-580.
- Onwude D I, Hashim N, Janius R B, Nawi N and Abdan K, 2016. Modelling the convective drying process of pumpkin (*Cucurbita moschata*) using an artificial neural network. *International food research journal* 23: S237.

- Rasouli M and Seiedlou S, 2012. A study of the shrinkage changes and mathematical modeling of garlic (*Allium sativum* L.) during convective drying. *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 2(1): 67-73.
- Saffari M, Yasrebi J, Sarikhani F, Gazni R, Moazallahi M, Fathi H and Emadi M, 2009. Evaluation of Artificial Neural Network models for prediction of spatial variability of some soil chemical properties. *Research Journal of Biological Sciences* 4(7): 815-820.
- Salehi F, 2020a. Recent advances in the modeling and predicting quality parameters of fruits and vegetables during postharvest storage: A review. *International Journal of Fruit Science* 20(3): 506-520.
- Salehi F, 2020b. Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review. *International Journal of Fruit Science* 20(3): 586-602.
- Satorabi M, Salehi F and Rasouli M, 2021. The influence of xanthan and balangu seed gums coats on the kinetics of infrared drying of apricot slices: GA-ANN and ANFIS Modeling. *International Journal of Fruit Science* 21(1): 468-480.
- Sharma G P and Prasad S 2006. Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves. *Journal of Food Engineering* 75(4): 441-446.
- Yusefi A, Dilmaghanian S, Ziaforoughi A and Moezzi M, 2019. Study on infrared drying kinetics of quince slices and modelling of drying process using genetic algorithm-artificial neural networks (GA-ANNs). *Innovative Food Technologies* 6(2): 175-186.
- Zhou L, Guo X, Bi J, Yi J, Chen Q, Wu X and Zhou M, 2017. Drying of garlic slices (*Allium sativum* L.) and its effect on thiosulfates, total phenolic compounds and antioxidant activity during infrared drying. *Journal of Food Processing and Preservation* 41(1): e12734.



Journal of Food Research, 2023,33(3):35-47
<https://foodresearch.tabrizu.ac.ir>

OPEN ACCESS



© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)
DOI: DOI: 10.22034/FR.2023.52779.1842

Predicting moisture content of garlic slices during infrared drying using artificial neural network

N Godini¹, A Gohari Ardabili^{2*} and F Salehi²

Received: January 8, 2022

Accepted: July 28, 2022

¹ MSc Student, Department of Food Science and Technology, Bahar Faculty of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

² Assistant Professor and Associate Professor respectively, Department of Food Science and Technology, Bahar Faculty of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

*Corresponding Author: Email: a.gohari@basu.ac.ir

Introduction: Garlic (*Allium sativum* L.), is one of the most perennial spice crops, which is grown all over the country and especially in plains of India and is used as the spices or condiment throughout the world. Fresh garlic clove has a high moisture content of around 70%, which can be easily spoiled due to microbial contamination also sprouting and rotting are the main causes of losses during storage (Zhou et al. 2017; Malakar et al. 2021). Drying is an energy-intensive unit operation in food preservation, as it removes the excess moisture content and enhances the shelf life of food products (Salehi 2020b). Garlic has found uses in its dried form, as an ingredient of precooked foods and instant convenience foods including sauces, gravies and soups, has led to a sharp increase in the demand of dried garlic (Sharma and Prasad 2006). Infrared radiation (IR) is developed in recent years with the advantages of higher puffing rate, energy saving, and uniform temperature distribution giving a better quality (Salehi 2020b). When exposed to infrared rays, samples absorb the radiation, leading to uniform molecular heating without impacting the temperature of the air in the drying chamber. As a result, drying rates are improved, foods are dried faster, energy consumption is decreased, and product quality is greatly preserved (Doymaz et al. 2015). Artificial neural network (ANN), known as connected machine model, which can simulate the basic process of biological nervous system to deal with external things. It was a computing system, which developed based on modern neuroscience, computer science, biology, and other disciplines, and it can simulate the human brain and nerve tissue (Saffari et al. 2009; Salehi 2020a). The ANN has attracted the attention of scholars in many fields due to its good fault tolerance and excellent nonlinear approximation ability of self-learning and self-organization. The structure of the ANNs model is formed using experimental data under consideration and therefore can represent and predict the data with high accuracy. ANNs has been used for modeling drying kinetics, with high accuracy (Onwude et al. 2016; Satorabi et al. 2021). In this study, the effect of the infrared treatment time, the samples distance from the infrared lamp (at three levels of 5, 7.5 and 10 cm) and the samples thickness (at three levels of 3, 6 and 9 mm) on the change in the moisture content of garlic slices inside an infrared dryer was investigated.

Material and methods: Slices of garlic (at three levels of 3, 6 and 9 mm) were prepared with the aid of a cutter. The garlic slices were dried in an infrared dryer (250 W infrared radiation lamp (NIR),

Noor Lamp Company, Iran). The weight changes of garlic slices was measured by using Lutron GM-300p digital balance (Taiwan, the sensitivity of ± 0.01 gr). All measurements were done in triplicate. In this study, the Neurosolution software (release 5, NeuroDimension, Inc., USA) was employed for making the ANN model. The experimental data order was first randomized and then total data were randomly separated into 3 partitions: training (20%), validating (20%), and testing data (60%). The testing data were used for prediction of the trained network performance on unseen data. In the hidden layers and output layer a hyperbolic tangent activation function was used. The Levenberg–Marquardt (LM) optimization method was applied to network training. Also, a sensitivity analysis was done to supply the measure of relative significance between the inputs of the ANN model and to show how the model output changed in response to input changes.

Results and discussion: The results showed that by reducing the samples distance from the infrared lamp and also reducing the samples thickness, the amount of removed moisture from the samples increases and the drying time decreases. The time required to reach the moisture content of garlic slices with a thickness of 9 mm to about 10% at distances of 5, 7.5, and 10 cm was 50, 54, and 64 minutes, respectively. Also, the time needed to drying of garlic slices with thicknesses of 3, 6, and 9 mm was 28, 33, and 40 minutes, respectively (the distance between the samples and the radiation lamp was 10 cm). This process was modeled by an artificial neural network with 3 inputs (the treatment time by infrared, the samples distance from the infrared lamp and the samples thickness) and 1 output (moisture content). The results of artificial neural network modeling showed that the network with 12 neurons in a hidden layer and using the Hyperbolic tangent activation function can predict the moisture content of garlic slices during drying by infrared dryer ($r=0.964$). Also, the values of mean squared error (MSE), normalized mean squared error (NMSE) and mean absolute error (MAE) for optimum network were 20.637, 0.070 and 3.494, respectively.

Conclusion: The use of artificial neural network approach for modeling the drying kinetic and moisture content changes of garlic slices helps in programming and developing smart control systems, which is very useful for automated food processing systems.

Keywords: Artificial neural network, Correlation coefficient, Drying time, Garlic slices