

## مدل‌سازی فرآیند خشک کردن برش‌های هلو پوشش داده‌شده با صمغ‌های دانه ریحان و گزانتان با سامانه فرسرخ

فخرالدین صالحی<sup>۱\*</sup> و مریم ساترابی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۵ تاریخ پذیرش: ۴۰۰/۴/۳

<sup>۱</sup> دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

\*مسئول مکاتبه: Email: F.Salehi@Basu.ac.ir

### چکیده

زمینه مطالعاتی: یکی از مهمترین روش‌های فرآوری سبزی‌ها و میوه‌ها در سرتاسر جهان خشک‌کردن آنها است که باعث تسهیل حمل‌ونقل، افزایش قابلیت نگهداری و کاهش فعالیت‌های میکروبی می‌گردد. در همین راستا استفاده از تابش فرسرخ باعث افزایش سرعت خشک‌کردن، حفظ کیفیت محصول نهایی و کاهش هزینه‌های فرآیند به دلیل کاهش مصرف انرژی می‌شود. پوشش‌دهی محصولات کشاورزی قبل از فرآیند خشک‌کردن نیز باعث بهبود کیفیت ظاهری محصول، و در نتیجه افزایش مشتری‌پسندی آن می‌شود. هدف: هدف از این پژوهش استفاده از پرتوهای فرسرخ جهت تسهیل فرآیند خشک‌کردن و صمغ‌های دانه ریحان و گزانتان جهت پوشش‌دهی و افزایش کیفیت برش‌های هلو هنگام خشک‌کردن، و بررسی سینتیک خشک شدن نمونه‌ها است. روش کار: در این مطالعه اثر متغیرهای پوشش‌دهی (شاهد، ریحان و گزانتان) و توان لامپ فرسرخ (۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات) بر زمان خشک شدن و محتوای رطوبت نمونه‌ها در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. غلظت صمغ‌های استفاده شده ۰/۶ درصد (وزنی/وزنی)، ضخامت برش‌های هلو ۰/۵ سانتی‌متر و فاصله نمونه‌ها از لامپ برابر ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. نتایج: نتایج نشان داد که با افزایش توان لامپ زمان خشک‌کردن کاهش می‌یابد. پیش تیمار پوشش‌دهی باعث افزایش زمان خشک‌کردن نمونه‌ها شد که زمان خشک شدن نمونه‌های پوشش داده‌شده با صمغ دانه ریحان طولانی‌تر بود. میانگین زمان خشک شدن نمونه‌های شاهد، پوشش داده‌شده با صمغ‌های ریحان و گزانتان به ترتیب برابر ۵۲/۷۸ دقیقه، ۷۶/۲۲ دقیقه و ۶۲/۰۰ دقیقه بود. این فرآیند توسط یک شبکه عصبی مصنوعی با ۳ ورودی (زمان پرتو، نوع پوشش و توان لامپ پرتو) و ۱ خروجی (محتوای رطوبت) مدل‌سازی شد. نتیجه‌گیری نهایی: بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته روی داده‌های مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار شبکه عصبی نروسولوشن، 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 فرسرخ بود.

واژگان کلیدی: پرتوهای فرسرخ، خشک کردن، شبکه عصبی مصنوعی، محتوای رطوبت

## مقدمه

یکی از مهمترین روش‌های فرآوری سبزی‌ها و میوه‌ها در سرتاسر جهان خشک‌کردن آنها است که باعث تسهیل حمل‌ونقل (به دلیل کاهش حجم ماده غذایی)، افزایش قابلیت نگهداری و کاهش فعالیت‌های میکروبی (به دلیل کاهش رطوبت و فعالیت آبی) می‌گردد (خاکبازحشمتی و سیفی‌مقدم ۱۳۹۶؛ صالحی ۲۰۲۱). یکی از روش‌های خشک‌کردن مواد غذایی، استفاده از تابش فرورسرخ است. جذب اشعه فرورسرخ توسط مولکول‌های محصول سبب گرم شدن سریع آنها و همچنین سبب کاهش تنش‌های حرارتی و در نتیجه، حفظ کیفیت و افزایش راندمان فرآیند می‌شود. در خصوص مزایای کاربرد روش فرورسرخ برای خشک‌کردن محصولات کشاورزی می‌توان به این موارد اشاره نمود: ۱- راندمان بالای انرژی الکتریکی به گرما برای فرورسرخ الکتریکی و منبع جایگزین مناسب برای انرژی گرمایی؛ ۲- نفوذ تابش به‌طور مستقیم به داخل محصول بدون گرم کردن محیط اطراف آن؛ ۳- دمای یکنواخت در محصول در حال خشک شدن؛ ۴- آسان بودن برنامه‌ریزی و دست‌کاری چرخه حرارت دهی برای محصولات مختلف و سازگاری آن مطابق با تغییر شرایط؛ ۵- سهولت در کنترل فرایند و تراز کردن پروفایل‌های رطوبت در محصول و از بین رفتن کمتر محصول؛ ۶- ارزان بودن منابع فرورسرخ در مقایسه با منابع دی‌الکترونیک و ماکروویو و داشتن طول عمر طولانی و هزینه تعمیر و نگهداری پائین و هزینه فن‌آوری کم؛ ۷- صرفه‌جویی در فضا، محیط کاری تمیز و امکان سازگاری آسان با خشک‌کن‌های معمولی نصب‌شده قبلی؛ ۸- کاهش نیاز به جریان هوا در سراسر محصول (کریشنامورتی و همکاران ۲۰۰۸؛ جان و همکاران ۲۰۱۱؛ صالحی ۲۰۲۰b). دهقانی‌خیای و همکاران (۱۳۹۹) از روش‌های هیبریدی (هوای داغ- مایکروویو- فرورسرخ) جهت خشک‌کردن سیب‌زمینی و مطالعه ویژگی‌های کیفی محصول خشک‌شده استفاده

کردند. در بین روش‌های بررسی شده در این پژوهش، سیب‌زمینی‌های خشک‌شده با روش هوای داغ- فرورسرخ رنگ بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشتند؛ به‌طوری‌که در این روش نسبت به روش‌های دیگر میزان تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) و میزان رنگ سبز تا قرمز (a) در پایین‌ترین مقدار و میزان روشنایی (L) و میزان رنگ آبی تا زرد (b) در بالاترین مقدار قرار داشتند.

استفاده از پیش تیمار پوشش‌دهی قبل از فرایند خشک‌کردن می‌تواند با حفظ کیفیت ظاهری، رنگ و حجم نمونه، عملکرد فرایند خشک‌کردن را بهبود بخشد. پوشش‌های خوراکی با ایجاد مانع فیزیکی نیمه‌تراوا بر روی سطح میوه، موجب کاهش نفوذپذیری به اکسیژن، دی‌اکسید کربن، بخار آب، کاهش انتقال رطوبت و املاح شده، همچنین اتمسفر اصلاح‌شده‌ای تولید می‌کند که موجب کاهش سرعت تنفس و کاهش سرعت واکنش اکسیداسیون می‌شود؛ در نتیجه در به حداقل رساندن تغییرات نامطلوب طی انبارمانی نقش دارد. همچنین از کاهش حجم و به دنبال آن افزایش چگالی ظاهری جلوگیری کرده و باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی مواد غذایی طی مدت زمان نگهداری شوند (دویماز ۲۰۰۴؛ صالحی ۲۰۲۰c).

از بین ترکیبات با منشأ طبیعی، صمغ‌ها و اسانس‌ها به‌طور وسیعی در مواد غذایی استفاده شده‌اند و اثبات شده که بسیاری از آنها طیف وسیعی از فعالیت آنتی‌اکسیدانی را دارا هستند (عسگری‌ورجانی و همکاران ۱۴۰۰). صمغ‌ها هیدروکلوئیدهایی هستند که با جذب آب سبب افزایش ویسکوزیته و در نتیجه پایداری برخی از سیستم‌های غذایی می‌شوند و از این نظر کاربرد گسترده‌ای در بسیاری از فرآورده‌های غذایی دارند. گیاه ریحان دارای دانه‌های ریز و سیاهی است که دارای برجستگی سفیدرنگی در قسمت باریک و کمی خمیده‌ی دانه است. پوسته‌ی رویی این دانه‌ها دارای لایه‌ای موسیلاژی است و هنگامی‌که داخل آب قرار می‌گیرند به‌سرعت متورم شده و در سطح دانه قرار

شدن موسیلاژ دانه ریحان را با استفاده از خشک‌کن فرسرخ پیش‌بینی نماید. فصل برداشت هلو کوتاه بوده و به دلیل نرم و حساس بودن بافت میوه در مرحله پس از برداشت، بهتر است جهت نگهداری طولانی مدت فرآوری شود. هلو تازه بیش از ۸۶ درصد آب دارد و حاوی انواع ویتامین‌ها و مواد معدنی است. میوه هلو را علاوه بر مصرف به شکل تازه، می‌توان به‌صورت آب‌میوه، مربا و خشک‌شده استفاده نمود (کینگسلی و همکاران، ۲۰۰۷). با توجه به اینکه بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای ما، در مورد خشک‌کردن برش‌های هلو پوشش داده شده با صمغ‌های دانه ریحان و گزانتان تحقیقی صورت نگرفته است، لذا هدف این تحقیق بررسی اثر عوامل مختلف (زمان پرتودهی، نوع پوشش و توان لامپ پرتودهی) بر خشک‌کردن هلو پوشش داده‌شده با صمغ‌های ریحان و گزانتان به روش فرسرخ و مدل‌سازی محتوای رطوبت (بر پایه وزن مرطوب) نمونه‌ها با استفاده از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی بود.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش دانه‌های ریحان از شهر همدان تهیه و ناخالصی آن‌ها کاملاً جدا گردید. لایه خارجی دانه ریحان (پریکارپ) وقتی در تماس با آب قرار می‌گیرد به‌سرعت متورم شده و ماده‌ای ژلاتینی و صمغ مانند ایجاد می‌کند. جهت استخراج این صمغ (موسیلاژ)، ابتدا دانه‌های ریحان به مدت ۲۰ دقیقه درون آب با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ قرار گرفتند. سپس جهت جدا کردن صمغ خارج شده از دانه‌ها، از دستگاه آبمیوه‌گیری<sup>۲</sup> استفاده شد (امینی و همکاران، ۲۰۲۰؛ ساترابی و همکاران، ۲۰۲۱). موسیلاژ استخراج شده درون آون (شیماز، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۵ ساعت خشک و غلظت آن مشخص شد. غلظت موسیلاژ استخراج شده ۰/۶ درصد

می‌گیرد. این موسیلاژ (صمغ) استخراج شده از دانه ریحان حاوی کربوهیدرات، پروتئین و فیبر بوده و می‌توان از آن در فرمولاسیون انواع مواد غذایی و یا برای پوشش‌دهی انواع محصولات کشاورزی به‌عنوان پوشش خوراکی استفاده کرد (صالحی ۲۰۲۰). عسگری و رجانی و همکاران (۱۴۰۰) اثر ضدآکسایشی و ضد میکروبی صمغ دانه ریحان و اسانس پونه کوهی در ماندگاری کیک شکلاتی کم‌چرب را ارزیابی کردند. براساس نتایج این پژوهش، با افزایش درصد صمغ و اسانس میزان پراکسید نمونه‌های کیک کاهش می‌یابد. با افزایش غلظت اسانس pH کاهش و اسیدیته افزایش یافته و با افزایش صمغ pH افزایش و اسیدیته کاهش یافته است. همچنین خصوصیات ضدآکسایشی نمونه‌های کیک با افزایش درصد صمغ و اسانس افزایش یافت.

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۱</sup> به‌عنوان روشی نوین جهت مدل‌سازی و بررسی سینتیک فرآیندهای مختلف اعمال شده بر مواد غذایی بررسی و استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند. توانایی پیش‌بینی یک شبکه عصبی به ساختار آن وابستگی کامل دارد (نوع تابع فعال‌سازی، تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه پنهان) (صالحی ۲۰۲۰a). از روش شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی فرآیندهای مختلف مرتبط با صنایع غذایی مخصوصاً فرآیندهای خشک‌کردن محصولات کشاورزی و پیش‌بینی پارامترهای خشک‌کردن استفاده شده است. برای مثال مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن موسیلاژ دانه ریحان با خشک‌کن فرسرخ با شبکه عصبی مصنوعی توسط امینی و همکاران (۲۰۲۰) بررسی شده است. نتایج نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۸ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی می‌تواند زمان خشک

2 Bellanzo BFP-1540 Juicer, China

1 Artificial Neural Network (ANN)

برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد.

### مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن هلو پوشش داده‌شده 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 (شکل ۱). در این مطالعه سه ورودی (زمان خشک‌کردن، نوع پوشش و توان لامپ پرتودهی) و یک خروجی (محتوای رطوبت) در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار نروسولوشن (ورژن ۶) جهت مدل‌سازی استفاده شد. در این نرم‌افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی (خطی، سیگموئیدی و تانژانت هیپربولیک)؛ تعداد نرون لایه پنهان (۲۰-۱)، تعداد داده‌های استفاده‌شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لیونبرگ-مارکت، بهترین ساختار شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد. برای ارزیابی شبکه عصبی ایجاد شده از شاخص ضریب همبستگی استفاده گردید (امینی و همکاران، ۲۰۲۱).

### نتایج و بحث

#### خشک‌کردن

در این پژوهش برش‌های هلو تا رطوبت ۱۰ درصد خشک شدند. در شکل ۲ اثر پوشش‌دهی با صمغ‌های ریحان و گزانتان بر زمان خشک شدن برش‌های هلو درون خشک‌کن فرسرخ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود پوشش‌دهی با صمغ‌های ریحان و گزانتان باعث افزایش زمان خشک شدن نمونه‌ها شده است و زمان خشک‌کردن نمونه پوشش داده‌شده با صمغ دانه ریحان نسبت به سایر نمونه‌ها طولانی‌تر می‌باشد. این موضوع می‌تواند مربوط به ممانعت‌کنندگی این صمغ از خروج سریع رطوبت از سطح محصول باشد (صالحی ۲۰۲۰). میانگین زمان خشک شدن نمونه‌های شاهد، پوشش داده‌شده با صمغ

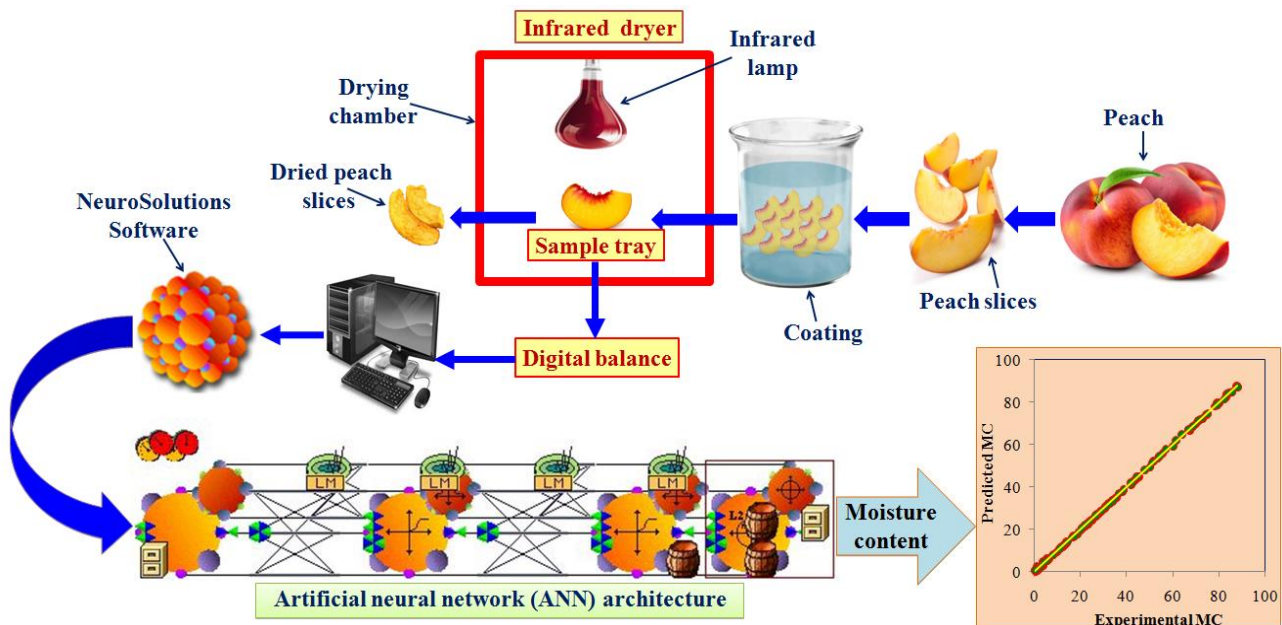
وزنی/وزنی بود و جهت پوشش‌دهی نمونه‌ها استفاده گردید. از محلول صمغ تجاری گزانتان (فونگ، چین) با غلظت ۰/۶ درصد هم به‌عنوان پوشش برش‌های هلو استفاده گردید.

برای انجام آزمایش‌ها، هلوهای (*Prunus persica*) با اندازه یکسان و قطر حدود ۵ سانتی‌متر از شهر کرمانشاه تهیه گردید. برای تعیین رطوبت نمونه‌ها، برش‌های هلو به مدت ۵ ساعت درون آون آزمایشگاهی (شیماز، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. رطوبت اولیه هلوها ۹۰ درصد بر پایه مرطوب بود. برای انجام فرآیند خشک‌کردن ابتدا هلوها به قطعاتی با ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر برش داده شدند. نمونه‌ها به سه گروه شاهد (بدون پوشش) و پوشش داده‌شده توسط صمغ‌های ریحان و گزانتان تقسیم شدند. برای پوشش‌دهی با صمغ‌های ریحان و گزانتان نمونه‌های برش خورده هلو به مدت ۱ دقیقه درون محلول تهیه شده از صمغ‌ها با غلظت ۰/۶ درصد وزنی/وزنی قرار گرفتند. نمونه‌های شاهد و پوشش داده‌شده هلو بلافاصله پس از برش جهت پرتودهی توسط خشک‌کن فرسرخ مورداستفاده قرار گرفتند (ساترابی و همکاران، ۲۰۲۱).

#### فرآیند خشک‌کردن

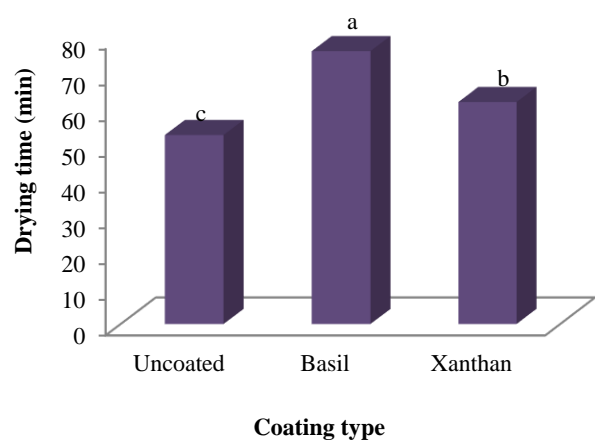
جهت خشک‌کردن برش‌های هلو شاهد و پوشش داده‌شده با صمغ‌های ریحان و گزانتان با خشک‌کن فرسرخ از سه لامپ فرسرخ ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات در فاصله ۱۰ سانتی‌متر از نمونه‌ها استفاده شد. تغییرات وزن نمونه‌ها طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی لوترون با دقت  $\pm 0.01$  گرم که در خشک‌کن تعبیه شده بود، ثبت گردید. تجزیه و تحلیل آماری در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت. مقایسه میانگین در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

ریحان و گزانتان به ترتیب برابر ۵۲/۷۸ دقیقه، ۷۶/۲۲ دقیقه و ۶۲/۰۰ دقیقه محاسبه گردید.



شکل ۱- شماتیک مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن برش‌های هلو با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی  
Figure 1. Schematic of drying process modeling of peach slices using artificial neural network

معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) بر خروج آب هلوها داشته و با افزایش توان لامپ، زمان خشک شدن کاهش یافت (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، به‌طور میانگین با افزایش توان لامپ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات به دلیل افزایش انرژی انتقال یافته به نمونه‌ها و همچنین افزایش دمای خشک‌کن، زمان خشک شدن ۴۵/۵۳ درصد کاهش یافت. هبار و همکاران (۲۰۰۴) از یک خشک‌کن ترکیبی فرسرخ با هوای داغ در سه حالت ترکیبی، فرسرخ به‌تنهایی و هوای داغ به‌تنهایی برای خشک‌کردن سیب‌زمینی و هویج استفاده کردند. نتایج به دست آمده حاکی از کاهش زمان خشک شدن و کاهش انرژی مصرفی در خشک‌کن ترکیبی نسبت به فرسرخ و هوای داغ بود. در پژوهشی تأثیر توان لامپ پرتودهی، دمای هوای داغ و ضخامت نمونه‌ها بر زمان و سینتیک خشک شدن طی خشک شدن کدوخلوایی در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط حسینی قابوس (۲۰۱۶) بررسی شده و توان ۲۷۲ وات، دمای ۷۵ درجه سلسیوس و



شکل ۲- اثر پوشش‌دهی بر زمان خشک شدن برش‌های هلو

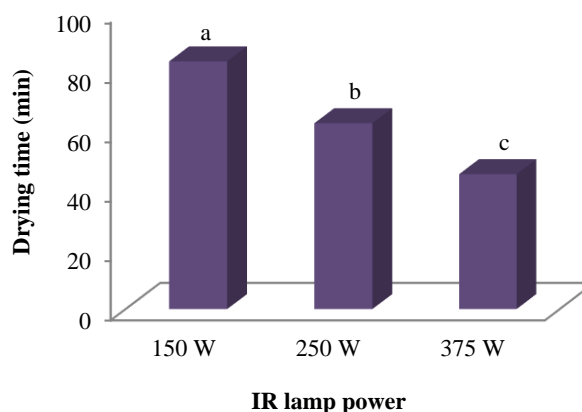
Figure 2- Effect of coating on the drying time of peach slices

جهت بررسی اثر توان لامپ فرسرخ بر زمان خشک شدن برش‌های هلو شاهد و پوشش داده‌شده، از سه لامپ فرسرخ با توان‌های ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات استفاده گردید. نتایج نشان داد که تغییر توان لامپ اثر

### نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

به‌منظور پیش‌بینی محتوای رطوبت برش‌های هلو شاهد و پوشش داده‌شده با صمغ‌های گزانتان و دانه ریحان درون سامانه فرسرخ از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. زمان خشک‌کردن، نوع پوشش و توان لامپ فرسرخ به‌عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و محتوای رطوبت به‌عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. 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 به‌عنوان 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 به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد (جدول ۱). ۲۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش‌دیده استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (۶۰ درصد) استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۷ نرون در لایه پنهان می‌تواند به‌خوبی محتوای رطوبت در طی فرآیند خشک‌کردن هلو شاهد و پوشش داده‌شده با صمغ‌های ریحان و گزانتان به روش فرسرخ را پیشگویی نماید ( $r=0/999$ ) (جدول ۲). مقدار بالای ضریب همبستگی گزارش شده در این جدول نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر به‌عنوان بهترین شرایط خشک‌کردن کدوخلوایی گزارش گردید. شارما و همکاران (۲۰۰۵) بیان نمودند در خشک‌کردن لایه نازک قطعات پیاز با استفاده از خشک‌کن فرسرخ، با تغییر توان مادون‌قرمز از ۳۰۰ به ۵۰۰ وات، افزایش دمای هوا از ۳۵ به ۴۵ درجه سلسیوس و افزایش سرعت جریان هوا از یک به ۱/۵ متر بر ثانیه، زمان خشک شدن ۲/۵ برابر کاهش پیدا می‌کند. در پژوهش دیگری دهقانی‌خیای و همکاران (۱۳۹۹) مطلوب‌ترین روش خشک‌کردن سیب‌زمینی را روش ترکیبی هوای داغ- فرسرخ با دمای ۴۵ درجه سلسیوس و توان ۶۰۰ وات گزارش کرده‌اند.



شکل ۳- اثر توان لامپ پرتودهی بر زمان خشک شدن برش‌های هلو

Figure 3. Effect of radiation lamp power on the drying time of peach slices

جدول ۱- مقادیر بهینه پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی

Table 1- Optimal values of artificial neural network parameters

Number of hidden layers	Learning rule	Type of activation function	The number of hidden layer neurons	Training data %	Validating data %	Testing data %
1	Levenberg-Marquardt	Hyperbolic tangent	7	20%	20%	60%

جدول ۲- مقادیر خطاها در پیش‌بینی داده‌های ارزیابی توسط شبکه عصبی مصنوعی بهینه دارای ۷ نرون در لایه پنهان

Table 2- The error values in prediction of testing data by optimal artificial neural network with 7 neurons in hidden layer

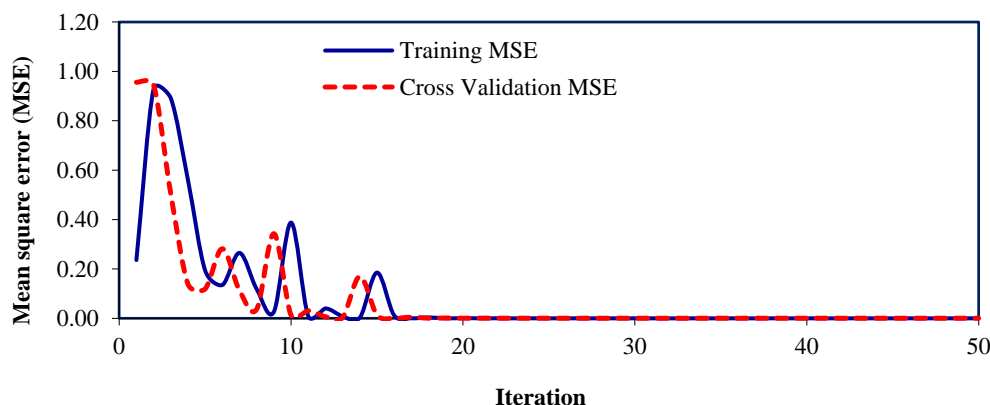
Error	Weight loss (%)
Mean squared error	0.3123
Normalized Mean squared error	0.0004
Mean absolute error	0.4065
Correlation coefficient (r)	0.999

استفاده نشده توسط شبکه) و پیش‌بینی شده محتوای رطوبت هلو توسط شبکه عصبی بهینه (۳/۷/۱) در شکل ۵ نشان داده شده است.

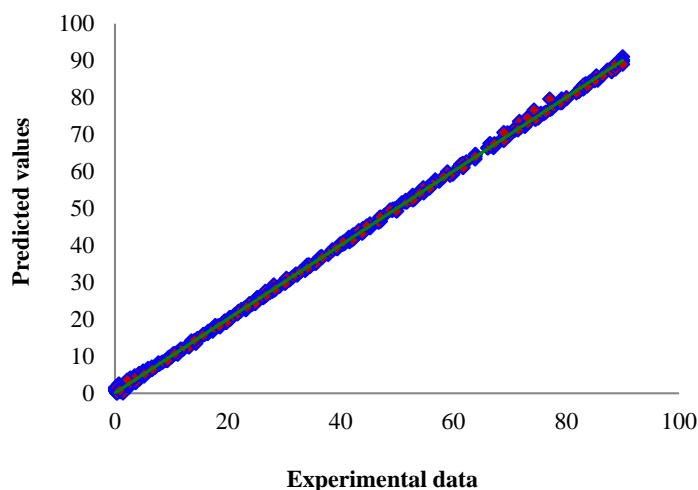
هدف از فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است (امینی و همکاران، ۲۰۲۱). در جدول ۳، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای ۷ نرون در لایه پنهان آورده شده است. در پژوهشی، مدل‌سازی کارایی فرآیند اولترافیلتراسیون در تصفیه شربت خام چغندر قند میکروفیلتر شده به روش شبکه عصبی مصنوعی توسط شایان و همکاران (۲۰۱۹) بررسی شده است. براساس نتایج این پژوهش، بهترین مدل برای کاهش سختی با یک لایه پنهان، تعداد ۱۳ نرون، تابع انتقال تانژانت، قانون یادگیری مومنتوم و درصد داده‌های ۲۵، ۳۵ و ۴۰ به ترتیب برای آموزش، ارزیابی و آزمون به دست آمده است. همچنین تغییرات درصد دفع ترکیبات غیرقندی با یک لایه پنهان، تعداد ۱۵ نرون، تابع انتقال تانژانت، قانون یادگیری لیونبرگ-مارکت و اختصاص ۵۰، ۵ و ۴۵ درصد از داده‌ها برای آموزش، ارزیابی و آزمون مدل کمترین خطا و بیشترین ضریب همبستگی را طی مدل‌سازی داشته است. در نهایت نیز برای بهبود خلوص جریان تراوه طی اولترافیلتراسیون با یک لایه پنهان، تعداد ۱۸ نرون، تابع انتقال سیگموئیدی، قانون یادگیری لیونبرگ-مارکت و درصد داده‌های ۳۵، ۴۰ و ۲۵ برای آموزش، ارزیابی و آزمون توانسته بهترین شبکه را ایجاد نماید.

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. مقدار میانگین مربعات خطا در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۴ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همان نسل‌های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل حدود ۱۶ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد. کاهش سریع در نمودار میانگین مربعات خطا در سیکل‌های اولیه آموزش نشان از یادگیری سریع شبکه می‌باشد. این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش تکرارها در مجموعه آموزش، مقدار میانگین مربعات خطا کاهش می‌یابد. با افزایش تعداد دوره‌ها، خطا کاهش پیدا می‌کند؛ یعنی شبکه بر روی داده‌های آموزشی برازنده می‌شود. زمانی که خطا در حین آموزش دیدن زیاد باشد و یا با الگوهای نامناسب صورت پذیرد، منحنی آموزش شبکه مقداری از خط آزمون شبکه فاصله می‌گیرد. در حالت فعلی مشاهده می‌شود که خط آموزش و آزمون شبکه نزدیک به هم هستند. لذا می‌توان بیان کرد که آموزش شبکه به بهترین شکل انجام پذیرفته 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 می-باشد. مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۶۰ درصد داده



شکل ۴- مقادیر میانگین مربعات خطا به‌عنوان تابعی از تعداد سیکل‌های یادگیری طی فرآیند یادگیری و آزمون شبکه عصبی  
 Figure 4-Mean square error values as a function of the learning iterations number during training and validation by neural network



شکل ۵- داده‌های آزمایشگاهی زمان خشک کردن در برابر مقادیر پیش‌بینی شده محتوای رطوبت برش‌های هلو پوشش داده‌شده

Figure 5. Experimental drying time data versus predicted values of moisture content of coated peach slices

جدول ۳- مقادیر وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه (۱-۷-۳)

Table 3- The weight and bias values of optimized neural network (3-7-1)

Hidden neurons	Bias	Input neurons			Output neurons
		Radiation time	Coating type	IR power (W)	Moisture content
1	-6.34017	-4.7113	-0.0600	0.1541	31.17243
2	-0.44445	-0.0086	1.0374	-1.0503	7.116917
3	-2.29597	1.4633	-0.5877	0.7569	-12.6981
4	4.5349	-0.3949	-2.2922	0.3589	21.19183
5	1.216673	2.4129	-0.4223	-0.9341	-0.18001
6	0.670528	0.9836	0.3940	-0.0474	-1.07886
7	-0.38733	0.0684	1.1634	-1.1879	-6.04204
Bias					-2.0927

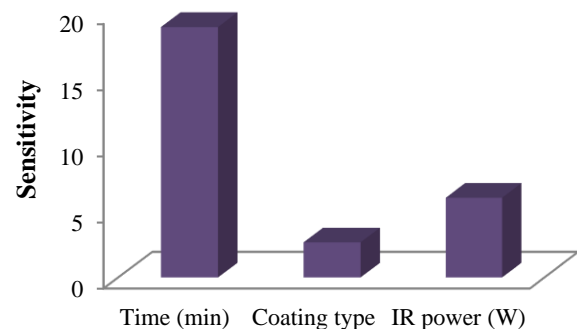
که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، به ترتیب زمان پرتودهی، توان لامپ فروسرخ و در نهایت نوع پوشش استفاده شده به‌عنوان مؤثرترین

به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری



برش‌های هلو به روش فروسرخ مورد بررسی قرار گرفت. متغیرهای ذکر شده بر زمان خشک شدن برش‌های هلو مؤثر بودند. پوشش‌دهی باعث افزایش زمان خشک شدن نمونه‌ها شد و هلو پوشش داده‌شده با صمغ دانه ریحان دیرتر خشک شد. با افزایش توان لامپ فروسرخ مقدار رطوبت خارج‌شده از نمونه‌ها افزایش و زمان خشک شدن کاهش یافت. مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی محتوای رطوبت به‌عنوان تابعی از زمان خشک شدن، نوع پوشش و توان لامپ فروسرخ طی خشک‌کردن به روش فروسرخ استفاده گردید. بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته روی داده‌های مدلسازی با استفاده از نرم‌افزار شبکه عصبی نروسولوشن، شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون انتشار برگشتی با ساختار ۱-۷-۳، با ضریب همبستگی  $r=0/999$  و مقدار میانگین مربعات خطای  $=0/3123$  MSE مناسب‌ترین شبکه برای تخمین محتوای رطوبت هلو پوشش داده‌شده هنگام خشک شدن درون خشک‌کن فروسرخ بود. نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه نشان داد که زمان پرتودهی به‌عنوان مؤثرترین عامل در کنترل محتوای رطوبت هلو پوشش داده‌شده می‌باشد.

عوامل در هنگام پیش‌بینی محتوای رطوبت هلو طی خشک‌کردن به روش فروسرخ می‌باشند. نتایج آنالیز حساسیت حاکی از این است که با وجود مزایای زیادی که پوشش‌دهی محصولات قبل از خشک‌کردن آنها دارد، اما پوشش‌دهی مشکلی در روند خشک‌کردن و زمان خشک‌کردن نمونه نداشته و عامل تأثیرگذاری در این فرآیند نمی‌باشد.



شکل ۶- نتایج آنالیز حساسیت مدلسازی خشک‌کردن برش‌های هلو پوشش داده‌شده

Figure 6- Sensitivity analysis results of drying modeling of coated peach slices

### نتیجه‌گیری

خشک‌کردن به‌وسیله اشعه فروسرخ به شکل لایه‌نازک روش مناسبی برای تولید محصولات خشک‌شده است. در این مطالعه اثر پوشش‌های ریحان و گزانتان، و توان لامپ فروسرخ بر زمان خشک شدن در طی خشک‌کردن

### منابع مورد استفاده

- خاکبازحشمتی م و سیفی‌مقدم ا، ۱۳۹۶، بررسی تکنیک متناوب میکروویو- هوای گرم بر خواص کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی خشک‌شده. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۷(۱)، ۱۱۱-۱۲۶.
- دهقانی‌خیای ه، خاکبازحشمتی م، دهقان‌نیا ج و باغبان ح، ۱۳۹۹، کاربرد روش‌های هیبریدی (هوای داغ- میکروویو- مادون‌قرمز) جهت خشک‌کردن سیب‌زمینی و مطالعه ویژگی‌های کیفی محصول خشک‌شده. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۰(۲)، ۱۶۱-۱۴۳.
- عسگری‌ورجانی س، صالحی‌فر م و شهریار ش، ۱۴۰۰، ارزیابی اثر ضداکسایشی و ضد میکروبی صمغ دانه ریحان و اسانس پونه کوهی در ماندگاری کیک شکلاتی کم‌چرب. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۱(۱)، ۱۷-۳۱.
- Amini G, Salehi F and Rasouli M, 2020. Drying process modeling of basil seed mucilage by infrared dryer using artificial neural network. Journal of Food Science and Technology (Iran) 17(106): 23-31.
- 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.

- Doymaz İ, 2004. Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots. *Biosystems Engineering* 89(3): 281-287.
- Fakhouri FM, Fontes LCB, Gonçalves PVdM, Milanez CR, Steel CJ and Collares-Queiroz FP, 2007. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. *Food science and technology* 27(2): 369-375.
- Garcia CC, Caetano LC, de Souza Silva K and Mauro MA, 2014. Influence of Edible Coating on the Drying and Quality of Papaya (*Carica papaya*). *Food and Bioprocess Technology* 7(10): 2828-2839.
- Hebbar H U, Vishwanathan K and Ramesh M, 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables, *Journal of Food Engineering* 65: 557-563.
- 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 Brach, Tehran, p. 122.
- Jun S, Krishnamurthy K, Irudayaraj J and Demirci A, 2011. Fundamentals and theory of infrared radiation. In: Pan, Z. Atungulu, G. G. (Eds.). *Infrared heating for food and agricultural processing*. New York. CRC press, 1-18.
- Kingsly RP, Goyal RK, Manikantan MR and Ilyas SM, 2007. Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *International Journal of Food Science & Technology* 42(1): 65-69.
- Krishnamurthy K. Kaur Khurana H. Jun S. Irudayaraj J and Demirci A, 2008. Infrared Heating in Food Processing: An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 7: 2-13.
- 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.
- Salehi F, 2020c. Edible coating of fruits and vegetables using natural gums: A review. *International Journal of Fruit Science* 20 (S2): S570-S589.
- Salehi F, 2021. Recent applications of heat pump dryer for drying of fruit crops: A review. *International Journal of Fruit Science* 21 (1): 546-555.
- 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 GP, Verma RC and Pathare P B. 2005. Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices. *Journal of Food Engineering* 71: 282–286.
- Shayan T, Hakimzadeh V and Shahidi Noghahi M, 2019. Modeling the efficiency of ultrafiltration process in purification of microfiltered raw sugar beet juice by artificial neural network. *Iranian Journal of Food Science and Technology* 16 (88):17-26.
- Zhang Y, Wang S, Ji G and Phillips P, 2014. Fruit classification using computer vision and feed-forward neural network. *Journal of Food Engineering* 143: 167-177.



Journal of Food Research, 2022,32(3):17-28

<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: 10.22034/FR.2022.41996.1763

## Drying process modeling of peach slices coated with basil seed and xanthan gums by infrared system

F Salehi<sup>1\*</sup> and M Satorabi<sup>2</sup>

Received: September 26, 2020

Accepted: June 24, 2021

<sup>1</sup>Associate Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran<sup>2</sup>MSc Student, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

\*Corresponding author, Email: F.Salehi@Basu.ac.ir

**Introduction:** One of the ways to reduce the drying time is to supply heat by infrared radiation. Infrared technique could be used as a substitution to the current drying techniques for manufacture a high quality dried hydrocolloids. Infrared technique has many advantages such as: high heat transfer rate, uniform heating, low processing time, high performance (80-90%), lower energy utilization, lower energy costs, and improving final products quality (Salehi 2020b). Edible coating applied to food slices prior to drying is a technology that can improve the nutritional and sensory qualities of dehydrated products. The edible coatings have been widely studied aiming to increase shelf life of minimally processed products and reduce the solids uptake during osmotic dehydration. Polysaccharide edible coatings present low water vapor barrier; however, they present good gas barrier properties, such as oxygen barrier, and could be used to minimize oxidative reactions in food during drying, pointing out the potential of using edible coatings prior to convective drying, since it could reduce undesirable changes due to large time of exposure of the food to oxygen (Fakhouri et al. 2007; Garcia et al. 2014; Salehi 2021; Satorabi et al. 2021). The performance of artificial neural networks (ANN) as an analytical alternative to conventional modeling techniques was reported by some researcher. They reported that this approach is able to estimated drying kinetics of various fruits and vegetables with high precision. It has been shown that nonlinear approaches based on ANN are far better in generalization and estimation in comparison to empirical models (Bahramparvar et al. 2014; Zhang et al. 2014; Salehi 2020a). In this study, basil seed and xanthan gums were used to coating of peach slices during drying in the infrared system and the drying kinetics of the samples were investigated.

**Material and methods:** Slices of peach (5 mm thick) were prepared with the aid of a cutter and a steel-made cutting tool, which was cylindrical in shape and pointed on one of the sides. Basil seeds was physically cleaned and all foreign stuffs were removed. Then, the pure basil seeds were immersed in water for 20 min at a seed/water relation of 1:20 at 25°C. In the next step, the gum was separated from the inflated seeds by passing the seeds through an extractor (Bellanzo BFP-1540 Juicer, China) with a rotating disc which scratches the mucilage layer on the seed surface. The initial moisture content (MC) of the basil seed gum was 99.4% (wet basis). Xanthan and basil seed gums were used to coat the fresh peach slices. A 0.6% (w/w) xanthan and basil seed gums solution were prepared at 25°C and then peach slices were immersed for 1 min in an aqueous solution. The coated peach slices were dried in an infrared dryer (infrared radiation lamp (NIR), Noor Lamp

Company, Iran). The influence of infrared radiation power (at three levels 150, 250 and 375 W), and time (min) on drying kinetics of peach slices was examined. The weight changes of peach slices were measured by using Lutron GM-300p digital balance (Taiwan, the sensitivity of  $\pm 0.01$  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:** Fruits and vegetables drying is a commonly used process for improving product safety as it greatly decreases the microbial activity and enzymatic changes during the storage period, hence, increasing the shelf life of the product. In this study, the effect of coating variables (control, basil and xanthan) and infrared lamp power (150, 250 and 375 W) on drying time and moisture content of samples in three replications were investigated. The concentration of used gum was 0.6% (w/w), the thickness of peach slices was 0.5 cm, and the distance of samples from lamp were 10 cm. The results of peach samples drying by infrared method showed that with increase in lamps power the drying time decreases. Coating pretreatment increased the drying time of peaches and the drying time of samples coated with basil seed gum was longer. The average drying time of the control samples, coated with basil and xanthan gums was 52.78 min, 76.22 min and 62.00 min, respectively. This process was modeled by an artificial neural network with 3 inputs (radiation time, type of coating and radiation lamp power) and 1 output (moisture content). The results of artificial neural network modeling showed that the network with 7 neurons in a hidden layer and using the Hyperbolic tangent activation function can predict the moisture content of coated peach during drying using infrared dryer ( $r=0.999$ ). Also, the values of mean squared error (MSE), normalized mean squared error (NMSE) and mean absolute error (MAE) for optimum network were 0.3123, 0.0004 and 0.4065, respectively.

**Conclusion:** Polysaccharide-based edible coating can be useful as a pretreatment for drying, since they prevent the oxidation of nutritional compounds, thereby improving the quality of the dried product. In this study, the effects of polysaccharide coating (xanthan and basil seed gums) on the drying kinetics of peach slices were investigated. In addition, artificial neural network model was used for prediction of moisture content of coated peach slices in an infrared dryer. With increasing infrared intensity, due to the increase in peach slices temperature and increasing evaporation rate and the decrease in drying time, the specific energy for drying of peach slices decreases. The results of this study indicated that ANN approach could give good estimation of moisture content of coated peach slices by xanthan and basil seed gums during infrared drying.

**Keywords:** Artificial neural network, Drying, Infrared radiation, Moisture content