مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن موسیلاژ دانه ریحان با خشک‌کن فروسرخ توسط شبکه عصبی مصنوعی

غزاله امینی[1]، فخرالدین صالحی[2]، مجید رسولی[2*]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
2- استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

(تاریخ دریافت: 99/02/26 تاریخ پذیرش: 99/04/28)

چکیده

امروزه صمغ‌های گیاهی و تجاری به‌منظور بهبود خصوصیات رئولوژیکی، بافتی و حسی مواد غذایی استفاده می‌شوند. دانه‌های ریحان دارای مقادیر قابل‌توجهی صمغ (موسیلاژ) با خواص عملکردی مناسب هستند که بعد از استخراج از دانه‌ها و خشک شدن، می‌توانند به‌صورت پودر در فرمولاسیون محصولات مختلف استفاده شود. در این مطالعه جهت خشک‌کردن موسیلاژ دانه ریحان، از روش پرتودهی فروسرخ استفاده گردید. اثر توان لامپ فروسرخ (150، 250 و 375 وات)، فاصله نمونه از لامپ (4، 8 و 12 سانتی‌متر) و ضخامت موسیلاژ (0/5، 1/0 و 1/5 سانتی‌متر) بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خشک‌کردن موسیلاژ دانه ریحان با روش فروسرخ نشان داد با افزایش توان لامپ و کاهش فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی، زمان خشک‌کردن کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله لامپ‌ها از 4 به 12 سانتی‌متر، میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان از 131/37 دقیقه به 336/41 دقیقه افزایش یافت. با افزایش ضخامت نمونه‌ها از 0/5 به 1/5 سانتی‌متر، میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان از 103/67 دقیقه به 367/67 دقیقه افزایش یافت. این فرآیند توسط یک شبکه عصبی مصنوعی با 3 ورودی (توان لامپ ، فاصله لامپ و ضخامت) و 1 خروجی (زمان خشک شدن) مدل‌سازی شد. نتایج مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی نشان داد شبکه‌ای با تعداد 8 نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی می‌تواند زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان با استفاده از خشک‌کن فروسرخ را پیشگویی نماید (r=0/96). نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه نشان داد که ضخامت نمونه به‌عنوان مؤثرترین عامل در کنترل زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان می‌باشد.

کلید واژگان: آنالیز حساسیت، پرتودهی، تابع فعال‌سازی، زمان خشک شدن.

*مسئول مکاتبات: M.Rasouli@Basu.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.23]

1- مقدمه

عبارت هیدروکلوئید (صمغ) به مجموعه‌ای از پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها اطلاق می‌شود که در آب حل یا پخش شده و ویسکوزیته را افزایش می‌دهند. خصوصیات عملکردی هیدروکلوئیدها شامل حفظ و بهبود بافت محصولات غذایی (مانند کیک اسفنجی، ماست و سس مایونز)، غلیظ کنندگی، تشکیل ژل و فیلم، تثبیت کف، امولسیون کنندگی و ایجاد دیسپرسیون‌ها می‌باشد [1, 2]. با توجه به اهمیت و کاربرد هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی و قیمت بالای این محصولات، توجه به صمغ‌های گیاهی و بومی افزایش یافته و در ایران به دلیل وجود منابع گیاهی، پژوهشگران به فکر جایگزینی صمغ‌های گیاهی با نمونه‌های تجاری هستند. دانه ریحان (*Ocimum basilicum*) دارای مقادیر قابل‌توجهی صمغ با خواص عملکردی مناسب هستند و افزودن آنها به فرمولاسیون مواد غذایی باعث بهبود خواص حسی و کیفی بافت محصول نهایی می‌شود. این دانه‌ها هنگامی که داخل آب قرار می‌گیرند، سریعاً متورم شده و مقدار زیادی موسیلاژ (صمغ محلول در آب) ایجاد می‌کنند [3, 4].

به دلیل فعالیت آبی بالای موسیلاژ استخراج شده از دانه‌های گیاهی و دارا بودن شرایط مساعد برای رشد میکروارگانیسم‌ها، می‌بایست این دیسپرسیون بعد از استخراج سریع خشک شود تا علاوه بر جلوگیری از فساد و افزایش زمان ماندگاری، با کاهش وزن، در هزینه‌های حمل‌ونقل و نگهداری صرفه‌جویی حاصل گردد. لذا محققان روش‌های مختلفی را برای خشک‌کردن این موسیلاژ مورد بررسی قرار داده‌اند تا به یک محصول با کیفیت بالا دست یابند [5, 6]. برای خشک‌کردن موسیلاژ استخراج شده از دانه‌های گیاهی از روش‌های مختلفی شامل استفاده از خشک‌کن‌های هوای داغ، بسترسیال، مایکروویو، انجمادی، تحت خلأ و پاششی استفاده شده است [6-10]. برای مثال Amid و Mirhosseini (2012) اثر روش‌های خشک‌کردن شامل هوای داغ، انجمادی، پاششی و تحت خلأ را بر خصوصیات صمغ دانه دیوران[1] بررسی کرده‌اند. نتایج این محققان نشان داد که روش خشک‌کردن تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌ها و رنگ صمغ دارد [6]. همچنین Nep و Conway (2011) گزارش کردند که روش خشک‌کردن صمغ گرویا باعث تغیر خصوصیات محصول خشک شده می‌شود. همچنین صمغ خشک شده توسط هوای داغ نسبت به روش‌های خشک‌کردن انجمادی و پاششی ویسکوزیته بیشتری داشته است [9].

یکی از روش‌های خشک‌کردن مواد غذایی، استفاده از تابش فروسرخ است که باعث افزایش سرعت خشک‌کردن، حفظ کیفیت محصول نهایی و کاهش هزینه‌های فرآیند به دلیل کاهش مصرف انرژی می‌شود. این روش به‌عنوان یک فناوری نوین در بخش‌های مختلفی از صنایع غذایی مانند خشک‌کردن سبزی‌ها، سرخ کردن، پخت نان، بیسکویت و پیتزا و برشته کردن غلات و قهوه توسعه‌یافته است. جذب اشعه فروسرخ توسط مولکول‌های محصول سبب گرم شدن سریع آنها و همچنین سبب کاهش تنش‌های حرارتی در محصول و در نتیجه، حفظ کیفیت و افزایش راندمان فرآیند می‌شود [11]. پرتودهی با فروسرخ در مقایسه با روش‌های حرارت دهی متداول دارای مزایای متعددی بوده و کیفیت محصول خشک‌شده در آن بالاتر است. در این روش زمان فرایند کوتاه‌تر و میزان مصرف انرژی کمتر می‌باشد. Doymaz (2011) در پژوهشی اثر تابش فروسرخ بر سینتیک خشک شدن و قابلیت جذب آب مجدد برش‌های سیب‌زمینی شیرین را مورد بررسی قرار داد. در این بررسی از چهار سطح توان تابشی 104، 125، 146 و 167 وات و سه ضخامت ورقه 3، 5 و 8 میلی‌متر استفاده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تابش اشعه فروسرخ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد [12]. Hebbar و همکاران (2004) از یک خشک‌کن ترکیبی فروسرخ با هوای داغ در سه حالت ترکیبی، فروسرخ 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 فروسرخ و هوای داغ بود [13]. در پژوهشی دیگر تأثیر توان لامپ پرتودهی، دمای هوای داغ و ضخامت نمونه‌ها بر زمان و سینتیک خشک شدن در طی خشک شدن کدوحلوایی در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط Hosseini Ghaboos (2016) بررسی شده و توان 272 وات، دمای 75 درجه سلسیوس و ضخامت 0/5 سانتی‌متر به‌عنوان بهترین شرایط خشک‌کردن کدوحلوایی گزارش‌شده است [14].

به‌منظور مدل‌سازی فرآیندهای فرآوری مواد غذایی از قبیل خشک‌کردن و پیشگویی پارامترهای مورد نظر در طراحی و

1. Durian seed gums

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.23]

توسعه سیستم‌ها از روش‌ها و معادلات مختلفی استفاده شده است [15]. مدل‌سازی فرایندهای خشک‌کردن برای طراحی، بهبود سیستم‌های موجود و حتی کنترل فرآیند انجام می‌شود. Toğrul (2006) خشک شدن هویج را با فروسرخ در محدوده 50 تا 80 درجه سلسیوس بررسی کرد و مدل تجربی را جهت توصیف رفتار خشک‌کردن پیشنهاد داد [16]. همچنین اخیراً روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)[1] به‌عنوان روشی نوین جهت مدل‌سازی و بررسی سینتیک فرآیندهای مختلف اعمال شده بر مواد غذایی مطرح شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند. توانایی پیشگویی یک شبکه عصبی به ساختار آن وابستگی کامل دارد (نوع تابع فعال‌سازی، تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه پنهان). تخمین تعداد نرون‌های لایه پنهان شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌وسیله آزمون و خطا انجام می‌شود [17, 18]. برای مثال مدل‌سازی فرآیند خشک شدن همرفتی سیر به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط Rasouli (2018) بررسی و برای این منظور شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه تحت عنوان پس انتشار پیشرو به کار گرفته شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار رطوبت سیر را می‌توان با استفاده از شبکه عصبی، با میانگین خطای متوسط کمتر و ضریب تبیین بیشتر نسبت به مدل ریاضی ویبل پیش‌بینی کرد [19]. Salehi و همکاران (2015) به‌منظور پیشگویی کاهش وزن، کاهش آب و جذب مواد جامد، در طی خشک‌کردن اسمزی زردآلو، از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند. نتایج این محققان نشان داد که بهترین مدل برای پیشگویی پارامترهای فوق دارای 1 لایه پنهان و 14 نرون در هر لایه می‌باشد [20].

با توجه به بررسی منابع منتشرشده مشخص شد که تاکنون پژوهشی در خصوص مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن موسیلاژ دانه ریحان در خشک‌کن فروسرخ صورت نگرفته است. لذا هدف این پژوهش بررسی اثر ضخامت نمونه، توان لامپ پرتودهی و فاصله لامپ از نمونه بر خشک‌کردن موسیلاژ و مدل‌سازی فرآیند با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

1. Artificial Neural Network (ANN)

2- مواد و روش‌ها

2-1- فرآیند خشک‌کردن

در این پژوهش دانه ریحان از استان همدان تهیه و ناخالصی آن‌ها کاملاً جداسازی گردید. جهت استخراج موسیلاژ، ابتدا دانه‌های ریحان به مدت 20 دقیقه درون آب با دمای 70 درجه سانتی‌گراد و نسبت آب به دانه برابر 20 به 1 قرار گرفتند. سپس جهت جدا کردن صمغ خارج شده از دانه‌ها، از دستگاه آبمیوه‌گیری[2] استفاده شد. برای هر مرحله از خشک‌کردن، موسیلاژ تازه استخراج و به خشک‌کن منتقل شد. در مرحله بعدی موسیلاژ استخراج شده درون ظروف مخصوص خشک‌کردن با سامانه فروسرخ با ارتفاع‌های 0/5، 1 و 1/5 سانتی‌متر ریخته شده و درون خشک‌کن قرار گرفت. میانگین رطوبت اولیه موسیلاژ استخراج شده 99/4% به دست آمد.

جهت خشک‌کردن موسیلاژ استخراج شده با خشک‌کن فروسرخ از متغیرهایی شامل توان‌های لامپ فروسرخ[3] در سه سطح 150، 250 و 375 وات و فاصله لامپ از نمونه در سه سطح 4، 8 و 12 سانتی‌متر استفاده شد. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی[4] با دقت 0/01 ± گرم که در خشک‌کن تعبیه شده بود، ثبت گردید. میزان کاهش وزن (WR)[5]، از طریق معادله زیر محاسبه گردید.

$$WR = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100 \qquad (1)$$

WR: درصد کاهش وزن موسیلاژ

M_0: جرم اولیه نمونه (gr)

M_t: جرم نمونه (gr) بعد از خشک شدن بعد از زمان t

کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت. تجزیه‌وتحلیل آماری در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل نسخه 2007 استفاده شد. برای تجزیه‌وتحلیل آماری از نرم‌افزار SAS نسخه 9/1 استفاده شد. مقایسه میانگین در سطح 5 درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

2-2- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

2. M-J-376-N, Nikko Electric Industry Company, Iran
3. Infrared Heat Lamp (NIR), Noor Lamp Company, Iran.
4. Digital balance, LutronGM-300p (Taiwan)
5. Weight Reduction

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.23]

مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن موسیلاژ دانه ریحان به روش فروسرخ جهت پیشگویی زمان خشک شدن به روش شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیشخور انجام پذیرفت. در این روش خروجی نرون‌های لایه پنهان و خروجی (y) از طریق افزایش بایاس[1] به مجموع ورودی‌های وزن‌دار شده با استفاده از رابطه 2 محاسبه می‌شود [21].

$$Y_j = \sum_{i=1}^{p} f(W_{ij} X_i + b_j) \quad (2)$$

در معادله فوق W_{ij} ضریب وزنی نرون شماره i که به نرون شماره j متصل است، می‌باشد. p تعداد ورودی‌های هر نرون و b_j بردار بایاس نرون j است.

در این مطالعه سه ورودی (توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت نمونه) و یک خروجی (زمان خشک شدن) در نظر گرفته شد (شکل 1).

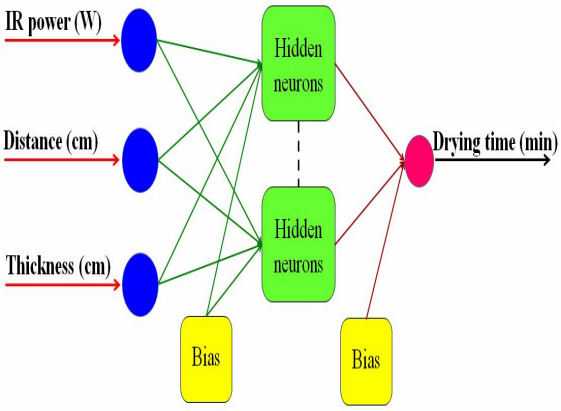

Fig 1 Schematic of drying process modeling of basil seed mucilage using artificial neural network

تعداد نرون‌های لایه پنهان، وابستگی کامل به نوع کاربرد و شرایط تعیین پارامترهای شبکه دارد و در این مطالعه تعداد نرون لایه پنهان بین 1 تا 25 در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار نروسولوشن[2] (نسخه6) جهت مدل‌سازی استفاده شد. در این نرم‌افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی (خطی، سیگموئیدی[3] (رابطه 3) و تانژانت هیپربولیک[4] (رابطه 4))؛ تعداد نرون لایه پنهان (1-25)، تعداد داده‌های استفاده‌شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لیونبرگ-مارکت[5]، بهترین ساختار[6] شبکه جهت دست‌یابی به شبکه بهینه بررسی شد. به‌منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده‌شده پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی[7] استفاده گردید.

$$Sig = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3)$$

$$Tanh = \frac{e^{x}-e^{-x}}{e^{x}+e^{-x}} \quad (4)$$

3- نتایج و بحث

3-1- خشک‌کردن

جهت بررسی اثر توان لامپ فروسرخ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان، از سه لامپ فروسرخ با توان‌های 150، 250 و 375 وات استفاده گردید. با افزایش دمای هوای خشک‌کن با افزایش توان لامپ پرتودهی و کاهش فاصله آن، آنتالپی هوا افزایش یافته و افزایش آنتالپی میزان انتقال جرم و حرارت افزایش می‌یابد که باعث کاهش زمان خشک شدن می‌شود [22, 23]. نتایج نشان داد که تغیر توان لامپ اثر معنی‌داری (P<0/05) بر خروج آب از موسیلاژ دانه ریحان دارد و با افزایش توان لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل 2 ملاحظه می‌شود، به‌طور میانگین با افزایش توان لامپ از 150 به 375 وات، زمان خشک شدن 85/04 درصد کاهش یافته است.

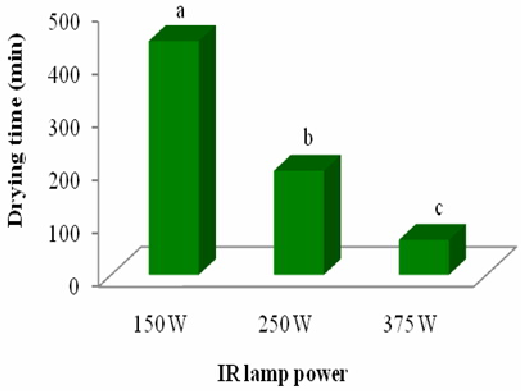

Fig 2 Effect of IR lamp power on drying time of basil seed mucilage.

نتایج حکایت از معنی‌دار بودن (P<0/05) اثر تغییر فاصله لامپ از نمونه‌ها، بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان

1. Bias
2. Neurosolution software (Excel software release 6.0), NeuroDimension, Inc., USA
3. Sigmoid functions
4. Hyperbolic tangent function
5. Levenberg–Marquardt (LM)
6. Topology
7. Correlation coefficient (r)

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]
[DOI: 10.52547/fsct.17.106.23]

دارد و با افزایش فاصله لامپ، زمان خشک شدن افزایش یافت (شکل 3). با افزایش فاصله لامپ‌ها از 4 به 12 سانتی‌متر، به‌طور میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان از 131/37 دقیقه به 336/41 دقیقه افزایش یافت.

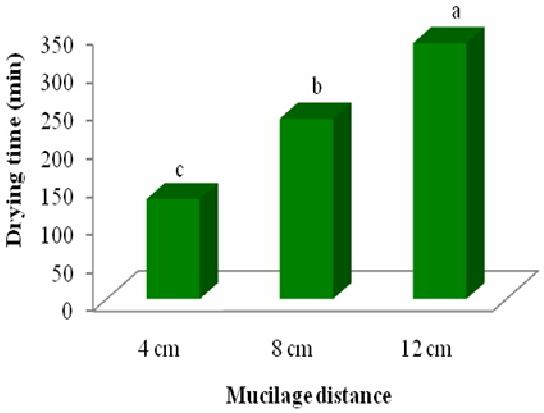

Fig 3 Effect of mucilage distance from IR lamp on drying time of basil seed mucilage.

در شکل 4 اثر ضخامت موسیلاژ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان درون خشک‌کن فروسرخ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش ضخامت نمونه‌ها از 0/5 به 1/5 سانتی‌متر، میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان از 103/67 دقیقه به 367/67 دقیقه افزایش یافته است.

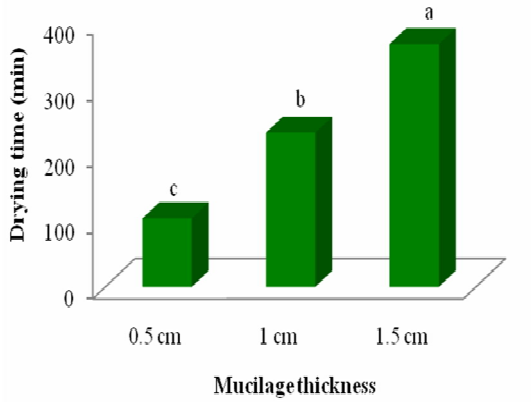

Fig 4 Effect of the mucilage thickness on IR drying time of basil seed mucilage.

3-2- نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

به‌منظور پیشگویی زمان خشک شدن موسیلاژ در طی خشک‌کردن موسیلاژ دانه ریحان به روش فروسرخ از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت موسیلاژ به‌عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و زمان خشک شدن به‌عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی سیگموئیدی به دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید.

بر اساس روش آزمون‌وخطا مشخص شد در صورتی که 20 درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد (جدول 1). 20 درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش‌دیده استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (60 درصد) استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای 8 نرون در لایه پنهان می‌تواند به‌خوبی زمان خشک شدن در طی فرآیند خشک‌کردن موسیلاژ دانه ریحان به روش فروسرخ را پیشگویی نماید (r=0/96) (جدول 2).

Salehi و همکاران (2015) به بررسی مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن اسمزی زردآلو با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. ساختارهای مختلف شبکه عصبی چند لایه پرسپترون برای پیشگویی انتقال جرم زردآلو آبگیری شده را مورد آزمون قرار دادند و نتایج گزارش شده نشان داد شبکه‌ای با تعداد 14 نرون در یک لایه پنهان به‌خوبی درصد کاهش وزن (R^2=0/98)، درصد کاهش آب (R^2=0/97) و مقدار جذب مواد جامد (R^2=0/96) در طی فرآیند خشک‌کردن اسمزی زردآلو را پیشگویی نماید. این مدل می‌تواند به‌منظور تولید محصولی با کیفت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات فرآوری و بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار گیرد [20].

Table 1 Optimal values of artificial neural network parameters

Testing data %	Validating data %	Training data %	The number of hidden layer neurons	Type of activation function	Learning rule	Number of hidden layers
60%	20%	20%	8	Sigmoid	Levenberg–Marquardt	1

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.23]

Table 2 The error values in prediction of testing data by optimal artificial neural network with 8 neurons in hidden layer

Weight loss (%)	Error
5199.176	Mean squared error
0.00872	Normalized Mean squared error
47.27	Mean absolute error
0.963	Correlation coefficient (r)

مقدار میانگین مربعات خطا[1] در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل 5 به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همان نسل‌های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل حدود 24 نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد. کاهش سریع در نمودار میانگین مربعات خطا در سیکل‌های اولیه آموزش نشان از یادگیری سریع شبکه می‌باشد که این از ویژگی‌های شناخته شده روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکت می‌باشد [24].

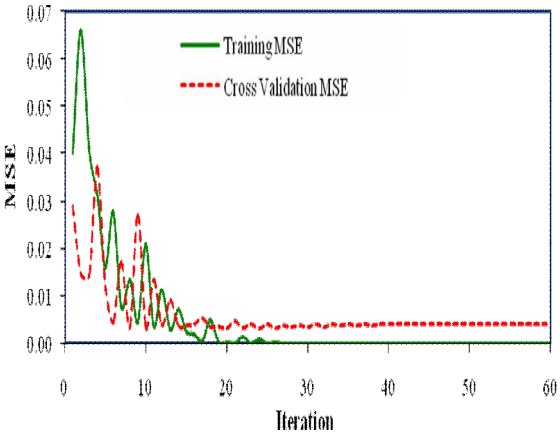

Fig 5 Mean square error (MSE) values as a function of the learning iterations number during training and validation by ANN

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (60 درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیشگویی شده زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان توسط شبکه عصبی بهینه (3/8/1) در شکل 6 نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

Erenturk و همکاران (2007) نیز از روش شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن هویج استفاده نمودند [25]. نتایج این محققان حاکی از قدرت بالای این روش جهت مدل‌سازی فرآیندهای خشک‌کردن مواد غذایی می‌باشد.

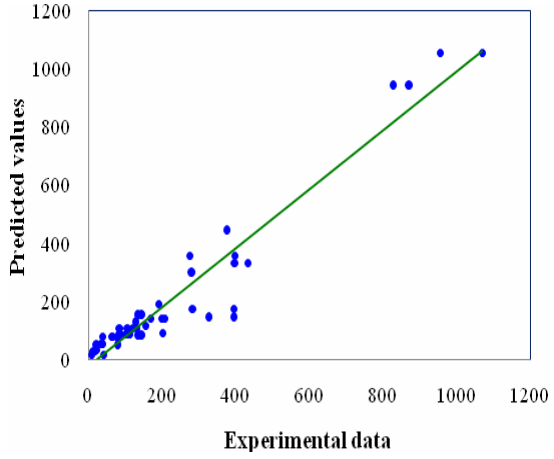

Fig 6 Experimental drying time data versus predicted values for dried basil seed mucilage during drying by IR system

همچنین Lertworasirikul و همکاران (2010) مدل‌سازی انتقال جرم آبگیری اسمزی پوست لیموی آفریقایی را توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پیش‌بینی میزان دفع آب و جذب مواد جامد توسط شبکه عصبی چند لایه با سه ورودی (دما، زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی و غلظت مواد جامد) نشان داد که بهترین شبکه با کمترین مجموع مربعات خطا برابر 0/0066 و بیش‌ترین میانگین ضریب رگرسیون 0/9725 با یک لایه مخفی و پنج نرون و روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت به دست می‌آید [26]. هدف از فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول 3، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای 8 نرون در لایه پنهان آورده شده است.

1. Mean squared error (MSE)

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.23]

Table 3 The weight and bias values of optimized neural network (3-8-1).

Hidden neurons	Bias	Input neurons			Output neurons
		IR power (W)	Distance (cm)	Thickness (cm)	Drying time
1	2.0984	-2.7925	2.5999	-0.46222	2.7281
2	0.39126	0.2426	0.1982	-0.3588	0.2198
3	1.1163	-0.1121	3.0497	-2.0288	-2.0885
4	4.4202	5.4936	-1.1373	-4.0589	-4.2159
5	3.5141	1.0160	0.0293	-1.1825	-1.7803
6	-1.6560	-1.6679	-2.2007	0.3465	-1.5526
7	2.3671	2.3787	5.4746	-3.1287	3.2948
8	-4.1320	-4.2740	1.7771	3.3434	3.5692
Bias					0.0902

به منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت[1] بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری که در شکل 7 مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، به ترتیب ضخامت نمونه، توان لامپ فروسرخ و درنهایت فاصله لامپ از سطح نمونه به‌عنوان مؤثرترین عوامل در هنگام پیشگویی زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان در طی خشک‌کردن به روش فروسرخ می‌باشند.

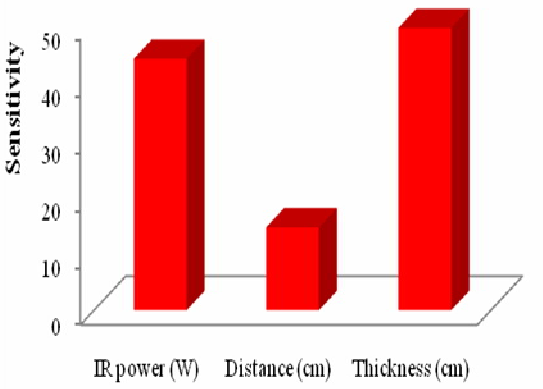

Fig 7 Sensitivity analysis results of basil seed mucilage drying modeling using IR system by optimized neural network (3-8-1).

4- نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر توان لامپ فروسرخ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت بر زمان خشک شدن در طی خشک‌کردن موسیلاژ دانه ریحان به روش فروسرخ مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر ذکر شده بر مقدار خروج آب و زمان خشک شدن مؤثر بودند. با افزایش توان لامپ فروسرخ و کاهش فاصله نمونه از لامپ، مقدار رطوبت خارج‌شده از نمونه‌ها افزایش و زمان خشک شدن کاهش یافت. مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی جهت پیشگویی زمان خشک شدن به‌عنوان تابعی از توان لامپ فروسرخ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت موسیلاژ دانه ریحان (ورودی‌های شبکه) در طی خشک‌کردن به روش فروسرخ استفاده گردید. نتایج نشان داد شبکه‌ای دارای 8 نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی در لایه پنهان و خروجی، و با استفاده از روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت، به‌خوبی قادر به پیشگویی زمان خشک شدن با ضریب همبستگی بالا (0/96) می‌باشد. نتایج آنالیز حساسیت، ضخامت نمونه را به‌عنوان مؤثرترین پارامتر بر روی تعیین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان معرفی نمود.

5- منابع

[1] Salehi, F. 2019. Characterization of new biodegradable edible films and coatings based on seeds gum: A review, Journal of Packaging Technology and Research. 3, 193-201.

[2] Salehi, F. 2019. Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review, Food science & nutrition. 7, 3391-3402.

[3] Zameni, A., Kashaninejad, M., Aalami, M., Salehi, F. 2015. Effect of thermal and freezing treatments on rheological, textural and color properties of basil seed gum, Journal of Food Science and Technology. 52, 5914-5921.

[4] Salehi, F. 2020. Effect of common and new gums on the quality, physical, and textural properties of bakery products: A review, Journal of Texture Studies. 51, 361-370.

[5] Wang, Y., Wang, L.-J., Li, D., Xue, J., Mao, Z.-H. 2009. Effects of drying methods on rheological properties of flaxseed gum, Carbohydrate Polymers. 78, 213-219.

[6] Amid, B. T., Mirhosseini, H. 2012.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.23]

Influence of different purification and drying methods on rheological properties and viscoelastic behaviour of durian seed gum, Carbohydrate Polymers. 90, 452-461.

[7] Cunha, R. L., Maialle, K. G., Menegalli, F. C. 2000. Evaluation of the drying process in spouted bed and spout fluidized bed of xanthan gum: focus on product quality, Powder Technology. 107, 234-242.

[8] Sundaram, J., Durance, T. D. 2008. Water sorption and physical properties of locust bean gum–pectin–starch composite gel dried using different drying methods, Food Hydrocolloids. 22, 1352-1361.

[9] Nep, E. I., Conway, B. R. 2011. Physicochemical characterization of grewia polysaccharide gum: Effect of drying method, Carbohydrate Polymers. 84, 446-453.

[10] Salehi, F., Kashaninejad, M. 2014. Effect of different drying methods on rheological and textural properties of balangu seed gum, Drying Technology. 32, 720-727.

[11] Salehi, F. 2020. Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review, International Journal of Fruit Science. 1-17.

[12] Doymaz, İ. 2012. Infrared drying of sweet potato (Ipomoea batatas L.) slices, Journal of Food Science and Technology. 49, 760-766.

[13] Hebbar, H. U., Vishwanathan, K., Ramesh, M. 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables, Journal of Food Engineering. 65, 557-563.

[14] Hosseini Ghaboos, S. H. Production of pumpkin powder with vacuum-infrared system and its use in the formulation of spong cake. in: Food science and technology, Islamic Azad University, Science and Research Brach, Tehran, 2016, pp. 122.

[15] Salehi, F. 2020. Recent advances in the modeling and predicting quality parameters of fruits and vegetables during postharvest storage: a review, International Journal of Fruit Science. 1, 1-15.

[16] Toğrul, H. 2006. Suitable drying model for infrared drying of carrot, Journal of food engineering. 77, 610-619.

[17] Ramzi, M., Kashaninejad, M., Salehi, F., Sadeghi Mahoonak, A. R., Ali Razavi, S. M. 2015. Modeling of rheological behavior of honey using genetic algorithm–artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system, Food Bioscience. 9, 60-67.

[18] Salehi, F., Razavi, S. M. A. 2016. Modeling of waste brine nanofiltration process using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system, Desalination and Water Treatment. 57, 14369-14378.

[19] Rasouli, M. 2018. Convective drying of garlic (*Allium sativum* L.): Artificial neural networks approach for modeling the drying process, Iranian Food Science and Technology Research Journal. 14, 53-62.

[20] Salehi, F., Abbasi Shahkoh, Z., Godarzi, M. 2015. Apricot osmotic drying modeling using genetic algorithm - artificial neural network, Journal of Innovation in Food Science and Technology. 7, 65-76.

[21] Salehi, F., Razavi, S. M. A. 2012. Dynamic modeling of flux and total hydraulic resistance in nanofiltration treatment of regeneration waste brine using artificial neural networks, Desalination and Water Treatment. 41, 95-104.

[22] Nimmol, C. 2010. Vacuum far-infrared drying of foods and agricultural materials, The Journal of the King Mongkut's University of Technology North Bangkok. 20, 37-44.

[23] Pan, Z., Shih, C., McHugh, T. H., Hirschberg, E. 2008. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying, LWT-Food Science and Technology. 41, 1944-1951.

[24] Bahramparvar, M., Salehi, F., Razavi, S. 2014. Predicting total acceptance of ice cream using artificial neural network, Journal of Food Processing and Preservation. 38, 1080–1088.

[25] Erenturk, S., Erenturk, K. 2007. Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot, Journal of Food Engineering. 78, 905-912.

[26] Lertworasirikul, S., Saetan, S. 2010. Artificial neural network modeling of mass transfer during osmotic dehydration of kaffir lime peel, Journal of Food Engineering. 98, 214-223.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.23]

Drying process modeling of basil seed mucilage by infrared dryer using artificial neural network

Amini, Gh. [1]; Salehi, F. [2]; Rasouli, M. [2*]

1. MSc Student, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(Received: 2020/05/15 Accepted: 2020/07/18)

Today, plant and commercial gums are used to improve the rheological, textural and sensorial properties of food. Basil seeds have significant amounts of gum (mucilage) with good functional properties that after extracting from seeds and drying, can be used as a powder in formulation of various products. In this study, for basil seed mucilage drying, infrared radiation (IR) method was used. The effect of infrared lamp power (150, 250 and 375 W), distance of samples from lamp (4, 8 and 12 cm) and mucilage thickness (0.5, 1 and 1.5 cm) on drying time of basil seed mucilage were investigated. The results of basil seed mucilage drying using infrared method showed that with increase in lamp power and decrease in sample distance from the heat source, drying time was decreased. With lamp distance increasing from 4 to 12 cm, the average drying time of basil seed mucilage increased from 131.37 minutes to 336.41 minutes. With sample thickness increasing from 0.5 to 1.5 cm, the average drying time of basil seed mucilage increased from 103.67 to 367.67 minutes. The process was modeled by an artificial neural network with 3 inputs (lamp power, lamp distance and thickness) and 1 output (drying time). The results of artificial neural network modeling showed that the network with 8 neurons in a hidden layer and using the sigmoid activation function could predict the drying time of basil seed mucilage using infrared dryer (r=0.96). The results of sensitivity analysis by optimal neural network showed that samples thickness is the most effective factor in controlling the drying time of basil seed mucilage.

Keywords: Activation function, Drying time, Radiation, Sensitivity analysis.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-05-07]

[DOI: 10.52547/fsct.17.106.23]

* Corresponding Author E-Mail Address: M.Rasouli@Basu.ac.ir