



بررسی تجربی و مدل‌سازی فرآیند خشک شدن صمغ دانه بالنگو با خشک‌کن فرورسرخ به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

نوید گودینی^۱، اشرف گوهری اردبیلی^{۲*}، فخرالدین صالحی^۳

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

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸

کلمات کلیدی:

الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی، پرتودهی، درصد کاهش وزن، صمغ دانه بالنگو.

DOI: 10.52547/fsct.19.124.31

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.25.2

* مسئول مکاتبات:

a.gohari@basu.ac.ir

از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک می‌توان برای غلبه بر محدودیت‌های ذاتی شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرد. روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی دارای قابلیت بالایی برای یافتن مقدار بهینه یک تابع هدف پیچیده است. در این مطالعه ابتدا جهت خشک‌کردن صمغ دانه بالنگو، از یک خشک‌کن فرورسرخ استفاده گردید. در این خشک‌کن فرورسرخ اثر فاصله نمونه‌ها از لامپ پرتودهی در سه سطح ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر و اثر ارتفاع صمغ درون ظرف در سه سطح ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ سانتی‌متر بر زمان خشک شدن و درصد کاهش وزن صمغ دانه بالنگو در طی زمان خشک‌کردن، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خشک‌کردن صمغ دانه بالنگو با روش فرورسرخ نشان داد با کاهش فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی و همچنین کاهش ضخامت صمغ موجود در ظرف نمونه، زمان خشک‌کردن کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله لامپ‌ها از ۵ به ۱۰ سانتی‌متر، میانگین زمان خشک شدن صمغ دانه بالنگو از ۶۲/۶ دقیقه به ۸۷/۶ دقیقه افزایش یافت. با افزایش ضخامت نمونه‌ها از ۰/۵ به ۱/۵ سانتی‌متر نیز میانگین زمان خشک شدن صمغ دانه بالنگو از ۴۵/۹ دقیقه به ۱۰۹/۲ دقیقه افزایش یافت. در مرحله بعد، این فرآیند توسط روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی با ۳ ورودی (زمان پرتودهی، فاصله لامپ از سطح نمونه‌ها و ضخامت نمونه‌ها) و ۱ خروجی (درصد کاهش وزن) مدل‌سازی شد. نتایج مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نشان داد شبکه‌ای با ساختار ۱-۹-۳ در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک می‌تواند درصد کاهش وزن صمغ دانه بالنگو هنگام خشک شدن در خشک‌کن فرورسرخ را با ضریب همبستگی بالا (۰/۹۹۹) و مقدار میانگین مربعات خطا پایین (۰/۷۸۸) پیش‌بینی نماید.

۱- مقدمه

خشک‌کردن و پیش‌بینی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها از روش‌های مختلفی استفاده شده است [۶]. روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی به‌طور گسترده‌ای به‌منظور مدل‌سازی فرآیندهای صنایع غذایی و پیش‌بینی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها استفاده می‌شود. الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت است و بر این اساس که بهترین‌ها حق بقا دارند، شکل گرفته است [۷].

در رابطه با استفاده از روش‌های مختلف برای خشک‌کردن صمغ‌های خوراکی، نپ و کانوی (۲۰۱۱) گزارش کردند که روش خشک‌کردن صمغ گرویا باعث تغییر خصوصیات محصول خشک‌شده گردید. همچنین صمغ خشک شده توسط هوای داغ نسبت به روش‌های خشک کردن انجمادی و پاششی ویسکوزیته بیشتری داشت [۸]. دویماز (۲۰۱۲) در پژوهشی اثر تابش فرسرخ بر سیستیک خشک شدن و قابلیت جذب آب مجدد برش‌های سیب‌زمینی شیرین را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان دادند که با افزایش شدت تابش اشعه فرسرخ، زمان خشک شدن کاهش یافت [۹].

تاکون در ارتباط با مدل‌سازی سیستیک خشک کردن صمغ دانه‌های بالنگو با روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی تحقیقی صورت گرفته است؛ بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی اثر ضخامت لایه صمغ و فاصله لامپ از نمونه بر خشک‌شدن صمغ دانه‌های بالنگو و مدل‌سازی فرآیند با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- استخراج صمغ دانه بالنگو

در این پژوهش دانه‌های بالنگو از استان کرمانشاه تهیه و ناخالصی آن‌ها کاملاً جداسازی گردید. جهت استخراج صمغ، ابتدا دانه‌های بالنگو به مدت ۲۰ دقیقه درون آب با دمای ۲۵ درجه سلسیوس و نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ قرار گرفتند [۱۰]. سپس جهت جدا کردن صمغ خارج شده از دانه‌ها، از دستگاه آمبیه‌گیری (ناسیونال، مدل MG-176NR، ژاپن) استفاده شد. برای هر مرحله از خشک‌کردن، صمغ تازه استخراج و به خشک‌کن منتقل شد. در مرحله بعدی صمغ استخراج شده درون ظروف مخصوص خشک‌کردن با سامانه

صمغ‌های گیاهی، پلی‌ساکاریدهای پیچیده‌ای هستند که از قسمت‌های مختلف گیاهان مانند دانه‌ها، دیواره‌های سلولی گیاه، ترشحات تنه درختان، غده‌ها یا ریشه‌ها استخراج می‌شوند. صمغ‌ها به‌عنوان هیدروکلوئید شناخته می‌شوند که می‌توانند ویسکوزیته را افزایش دهند. این هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی برای کنترل و بهبود بافت و افزایش پایداری محصولاتی مانند کیک اسفنجی، ماست، بستنی و سس مایونز به کار می‌روند. صمغ‌ها امروزه به دلیل عملکردهایی چون قوام‌دهندگی، تشکیل ژل، پایدارکنندگی کف‌ها، امولسیون‌ها و ممانعت از تشکیل کریستال به‌طور گسترده در صنایع غذایی استفاده می‌شوند. اخیراً یافتن منابع جدید صمغ‌های گیاهی با خواص مناسب برای استفاده در صنعت اهمیت ویژه‌ای دارد. صمغ‌های حاصل از دانه‌ها، افزودنی‌های غذایی مهمی در صنایع غذایی به شمار می‌روند [۱، ۲]. با توجه به اهمیت و کاربرد هیدروکلوئیدهای 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.

گیاه بالنگو یکی از گیاهان بومی ایران می‌باشد که در اکثر نقاط دنیا امکان کشت آن وجود دارد. در مقایسه با سایر هیدروکلوئیدها، صمغ حاصل از دانه بالنگو ویسکوزیته ظاهری بالاتری دارد [۳]. صمغ‌های استخراج شده از دانه‌های بالنگو، به علت فعالیت آبی بالا باید سریعاً خشک شوند. هدف از فرآیند خشک‌کردن این صمغ‌ها، جلوگیری از فساد، افزایش زمان ماندگاری، کاهش وزن و صرفه‌جویی در هزینه حمل و نقل است. پژوهشگران روش‌های مختلفی را برای خشک‌کردن صمغ استخراج شده از دانه گیاهان مورد استفاده قرار داده‌اند. خشک‌کن فرسرخ یکی از روش‌های رایج خشک‌کردن مواد غذایی است. این موضوع می‌تواند زمان خشک‌کردن را کاهش دهد، هزینه انرژی را پایین آورده و همچنین به شکل مساوی دما را در محصول پراکنده نماید که منجر به تولید محصول دارای کیفیت بالاتری می‌شود [۴، ۵]. این روش به‌عنوان یک فناوری نوین در بخش‌های مختلفی از صنایع غذایی مانند خشک‌کردن سبزی‌ها، سرخ کردن، پخت نان، بیسکویت و پیتزا توسعه یافته است و باعث افزایش راندمان فرآیند می‌شود. به‌منظور مدل‌سازی فرآیندها در مواد غذایی از قبیل

یادگیری لوبنرگ-مارکوارت^۱، بهترین ساختار^۷ شبکه جهت دست‌یابی به شبکه بهینه بررسی شد. به‌منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده‌شده پیش‌بینی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی^۸ استفاده گردید [۱۱].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی سینتیک تغییرات وزن

در شکل ۱ اثر فاصله لامپ حرارتی از سطح ظرف حاوی نمونه‌های صمغ دانه بالنگو بر درصد تغییرات وزن به نمایش درآمده است. بررسی تغییرات وزن نمونه‌ها در طی زمان نشان داد که با کاهش فاصله نمونه‌های از منبع حرارتی، رطوبت با سرعت بیشتری از نمونه‌ها خارج شده و نمونه‌ها سریع‌تر خشک می‌شوند. به‌طورکلی، با افزایش فاصله لامپ‌ها از ۵ به ۱۰ سانتی‌متر، میانگین زمان خشک شدن صمغ دانه بالنگو از ۶۲/۶ دقیقه به ۸۷/۶ دقیقه افزایش یافت. این نتایج همراستا با نتایج امینی و همکاران (۲۰۲۰) برای خشک‌کردن موسیلاژ دانه ریحان با خشک‌کن فرورسرخ است [۱]. این پژوهشگران گزارش کرده‌اند که تغییر فاصله لامپ حرارت دهی فرورسرخ از سطح نمونه‌های مرطوب بر زمان خشک شدن آنها اثر معنی‌داری دارد و با افزایش فاصله لامپ، زمان خشک شدن افزایش می‌یابد.

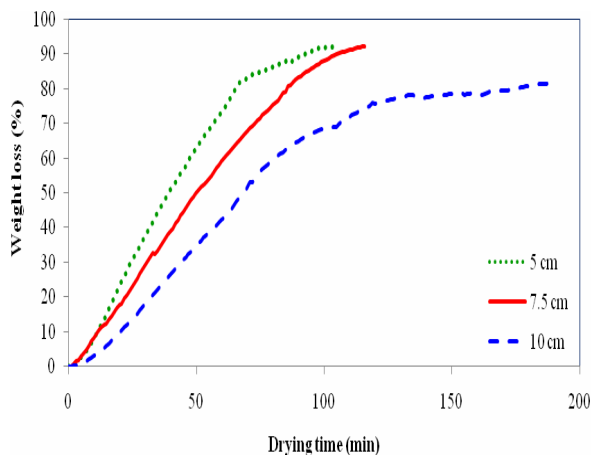


Fig 1 Effect of samples distance from heating lamp on the weight loss (%) of Balangu seeds gum during infrared drying (1.5 cm thickness).

همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، زمانی که فاصله لامپ فرورسرخ از سطح نمونه‌ها تا ۱۰ سانتی‌متر افزایش

فرورسرخ با ارتفاع‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ سانتی‌متر ریخته شده و درون خشک‌کن قرار گرفت. میانگین رطوبت اولیه صمغ استخراج شده ۹۹٪ به دست آمد.

۲-۲- فرآیند خشک‌کردن

جهت خشک‌کردن صمغ استخراج شده از خشک‌کن فرورسرخ با توان ۲۵۰ وات استفاده گردید و 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 دیجیتال^۱ با دقت ± 0.01 گرم که در خشک‌کن تعبیه شده بود، ثبت گردید.

میزان کاهش وزن (WL)^۲، از طریق معادله زیر محاسبه گردید.

$$WL = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

WL: درصد کاهش وزن صمغ

M_0 : جرم اولیه نمونه (g)

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

کلید آزمایش‌ها در سه تکرار انجام و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷ استفاده شد.

۲-۳- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن صمغ دانه بالنگو به روش فرورسرخ جهت پیش‌بینی درصد کاهش وزن در طی زمان خشک کردن به روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیش‌خور انجام پذیرفت. در این مطالعه سه ورودی (زمان پرتودهی، فاصله لامپ از سطح نمونه‌ها و ضخامت نمونه‌ها) و یک خروجی (درصد کاهش وزن) در نظر گرفته شد. تعداد نرون‌های لایه پنهان، وابستگی کامل به نوع کاربرد و شرایط تعیین پارامترهای شبکه دارد [۱۱] و در این مطالعه تعداد نرون لایه پنهان بین ۱ تا ۲۵ در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار نروسولوشن^۳ (نسخه ۵) جهت مدل‌سازی استفاده شد. در این نرم‌افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی (خطی، سیگموئیدی^۴ و تانژانت هیپربولیک^۵)؛ تعداد نرون لایه پنهان (۱-۲۵)، تعداد داده‌های استفاده‌شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده

1. Digital balance, LutronGM-300p (Taiwan)

2. Weight loss

3. Neurosolution software (Excel software release 6.0), NeuroDimension, Inc., USA

4. Sigmoid functions

5. Hyperbolic tangent function

6. Levenberg-Marquardt (LM)

7. Topology

8. Correlation coefficient (r)

خشک کردن صمغ دانه بالنگو به روش فرورسرخ از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. زمان پرتودهی، فاصله لامپ از سطح نمونه‌ها و ضخامت نمونه‌ها به‌عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و درصد کاهش وزن در طی خشک کردن نیز به‌عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک به دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید. بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۱۵ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد (جدول ۱). ۱۵ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (۷۰ درصد) استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۹ نرون در لایه پنهان می‌تواند به‌خوبی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن در طی فرآیند خشک کردن صمغ دانه بالنگو به روش فرورسرخ را پیش‌بینی نماید ($R^2=0/999$) (جدول ۲).

امینی و همکاران (۲۰۲۰) مدل‌سازی فرآیند خشک کردن موسیلاژ دانه ریحان با خشک‌کن فرورسرخ توسط شبکه عصبی مصنوعی را بررسی کردند. نتایج مدل‌سازی انجام شده توسط این پژوهشگران نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۸ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی می‌توان زمان خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان با استفاده از خشک‌کن فرورسرخ را پیش‌بینی نمود [۱]. در پژوهشی دیگر، سیتیک خشک کردن چای با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی توسط قنادزاده و همکاران (۲۰۱۶) بررسی شده است [۱۳]. در این پژوهش، فرآیند خشک کردن چای به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی با چهار بردار ورودی (زمان، دما، سرعت و رطوبت) و یک بردار خروجی (نسبت رطوبت) مدل‌سازی و نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی با داده‌های تجربی مقایسه شده است. بهترین نتیجه توسط شبکه عصبی پس انتشار پیشخور با الگوریتم آموزش لونبرگ-مارکواریت و تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئیدی به دست آمده که نشان دهنده دقت بالای شبکه عصبی مصنوعی بوده است. خطای درصد نسبی میانگین و ضریب تعیین و خطای مجذور مربعات میانگین به ترتیب ۱/۳ و ۰/۹۹۹۸ و ۰/۰۰۰۰۸ گزارش شده است.

می‌یابد، زمان خشک کردن نمونه‌ها به‌شدت افزایش یافته (حدود ۱۹۰ دقیقه) که این به دلیل کاهش انتقال جرم (خروج رطوبت) با افزایش فاصله لامپ است.

در شکل ۲ اثر ضخامت صمغ بر درصد کاهش وزن صمغ دانه بالنگو درون خشک‌کن فرورسرخ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش ضخامت نمونه‌ها، زمان خشک شدن صمغ دانه بالنگو افزایش یافته است. کمترین زمان خشک کردن مربوط به نمونه با ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر است و بیشترین زمان خشک کردن نیز مربوط به نمونه با ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر است. افزایش زمان خشک کردن با افزایش ضخامت نمونه، مربوط به قدرت نفوذ پایین امواج فرورسرخ است که حدود ۰/۵ سانتی‌متر قدرت نفوذ دارند؛ لذا با افزایش ضخامت نمونه‌ها، سرعت انتقال حرارت و گرم شدن نمونه کاهش یافته و در نتیجه خروج رطوبت کاهش می‌یابد. به طور میانگین، با افزایش ضخامت نمونه‌ها از ۰/۵ به ۱/۵ سانتی‌متر نیز میانگین زمان خشک شدن صمغ دانه بالنگو از ۴۵/۹ دقیقه به ۱۰۹/۲ دقیقه، افزایش یافت.

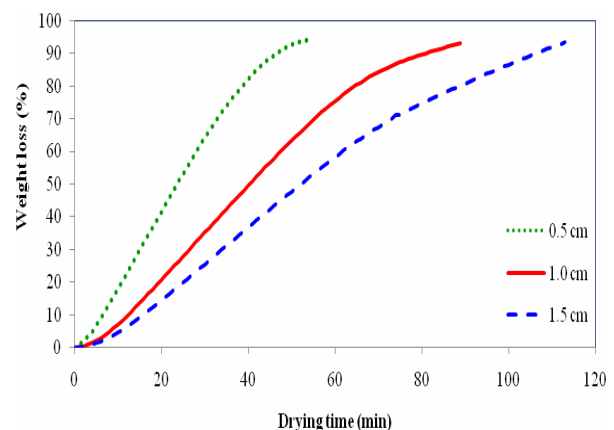


Fig 2 Effect of samples thickness on the weight loss (%) of Balangu seeds gum during infrared drying (7.5 cm distance).

۳-۲- نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه

عصبی مصنوعی

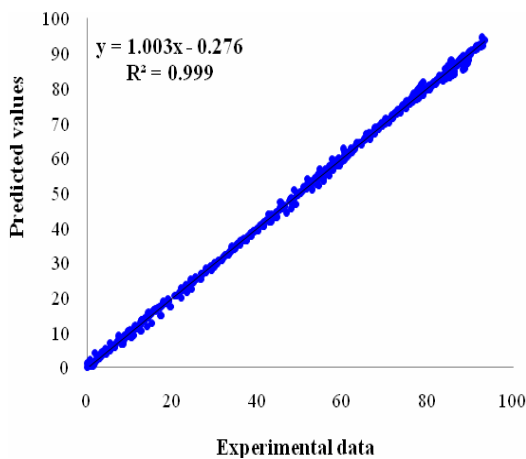
لازمه پیش‌بینی کیفیت و خصوصیات محصول در فرآیندهای خشک کردن، مدل‌سازی و پیدا کردن رابطه بین عواملی است که می‌توانند بر پارامتر خروجی مورد نظر تأثیرگذار باشند. مدل‌های تهیه شده وضعیت محصول در طول فرآیند خشک کردن را بر اساس پارامترهایی مانند پارامترهای خشک کردن، زمان، دما، محتوای رطوبتی و تغییرات وزن بیان می‌کنند [۱۲]. در این مطالعه به‌منظور پیش‌بینی درصد کاهش وزن در طی

Table 1 Optimal values of genetic algorithm–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
70%	15%	15%	9	Hyperbolic tangent	Levenberg–Marquardt	1

۰/۰۰۰۹۶۹۳) در مقایسه با سایر ساختارهای شبکه، نتایج بهتری را ارائه می‌کند.

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۷۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیش‌بینی شده درصد کاهش وزن صمغ دانه بالنگو در طی فرآیند خشک کردن، توسط الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی بهینه (۳/۹/۱) در شکل ۴ نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده کارایی بالای روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

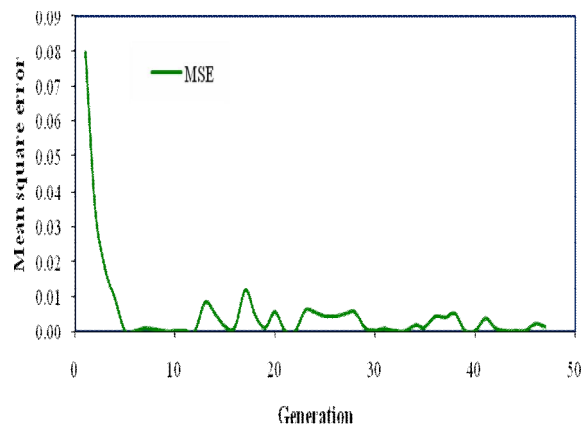
**Fig 4** Experimental data versus predicted values for weight loss of Balangu seeds gum during drying by infrared system

در پژوهشی، مدل‌سازی پارامترهای کیفی توت سفید در فرآیند خشک شدن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی توسط اصغری و همکاران (۲۰۱۷) بررسی شده است. به منظور مدل‌سازی از شبکه عصبی چند لایه با توابع آستانه مختلف و تعداد نوروں مختلف و الگوریتم آموزش برای آموزش شبکه‌ها استفاده شده است. نتایج نشان داده که شبکه عصبی با ساختار (۳-۸-۳) با توابع آستانه لگاریتمی و تانژانت سیگموئید با ضریب تعیین (۰/۹۹۹۸) و مقدار میانگین مربعات خطا (۰/۰۰۰۰۰۲) در مقایسه با سایر ساختارهای شبکه، نتایج بهتری را ارائه می‌کند. ساترابی و همکاران (۲۰۲۱) اثر پوشش‌دهی با صمغ دانه بالنگو و صمغ گزانتان بر زمان خشک شدن برش‌های زردآلو هنگام خشک شدن در یک خشک‌کن فرورسرخ را بررسی کردند. این

Table 2 The error values in prediction of testing data by optimal genetic algorithm–artificial neural network with 9 neurons in hidden layer

Weight loss (%)	Error
0.788	Mean squared error
0.001	Normalized Mean squared error
0.629	Mean absolute error
0.999	Correlation coefficient (r)

مقدار میانگین مربعات خطا^۱ در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۳ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همان نسل‌های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل حدود ۴۵ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد که نشان دهنده توانایی روش الگوریتم ژنتیک در بهینه کردن پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی است. مدل‌سازی سفتی بافت و سینتیک خشک شدن میوه "به" در خشک‌کن همرفتی فرورسرخ با شبکه عصبی مصنوعی توسط گیتی‌بان‌کلجایی و آصفی (۲۰۱۹) بررسی شده است [۱۲].

**Fig 3** Average fitness of mean square error (MSE) versus generation during training and validation by genetic algorithm–artificial neural network

آموزش شبکه‌ها استفاده شده است. نتایج نشان داده که شبکه عصبی با ساختار (۳-۷-۲) با توابع آستانه لگاریتمی با ضریب تعیین (۰/۹۹۸۰ و ۰/۹۸۶۷) به ترتیب برای زمان خشک شدن و سفتی بافت و مقدار میانگین مربعات خطا (۰/۰۰۸۸۱) و

1. Mean squared error (MSE)

درصد رطوبت نمونه هنگام خشک شدن در سامانه فرسوخ بوده است [۱۱].

هدف از فرآیند آموزش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی به‌دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول ۳، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه دارای ۹ نرون در لایه پنهان گزارش شده است.

پژوهشگران از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی فرآیند استفاده و گزارش کردند که این روش به‌خوبی سینتیک خشک شدن برش‌های زردآلو پوشش داده شده را پیش‌بینی کرده و استفاده از این روش برای بررسی سینتیک خشک‌کردن این نوع محصولات را پیشنهاد کرده‌اند. ساختار بهینه گزارش شده در این پژوهش ($r=0/999$)، یک شبکه سه لایه با ۹ نرون در لایه پنهان برای پیش‌بینی تغییرات

Table 3 The weight and bias values of optimized genetic algorithm-artificial neural network (3-9-1).

Hidden neurons	Bias	Input neurons			Output neurons
		Radiation time (min)	Distance (cm)	Thickness (cm)	Weight loss (%)
1	-1.1011	0.8209	1.4032	-1.2914	1.5314
2	-0.9168	1.6687	1.3255	-1.8825	-0.8624
3	-1.3999	1.2413	3.4188	0.5374	-1.1462
4	-0.9190	-0.9454	-0.1921	1.3478	0.5727
5	-0.6383	-0.2313	-0.6319	0.7379	-0.7090
6	2.6722	2.4061	0.0371	0.2200	2.0187
7	0.0995	0.3426	0.6708	0.0982	-0.4673
8	0.3569	-0.7811	0.4154	0.3070	-2.1961
9	0.7194	-0.7569	-1.5610	-0.2363	-1.6056
Bias					-0.2728

امینی و همکاران (۲۰۲۱) سینتیک خشک شدن موسیلاژ دانه ریحان در یک خشک‌کن فرسوخ را بررسی کردند. این فرآیند سینتیکی به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی شده است. این پژوهشگران گزارش کردند که این روش به‌خوبی روند تغییرات نسبت رطوبت و زمان خشک شدن صمغ را پیش‌بینی کرده و لذا استفاده از این روش برای بررسی سینتیک خشک‌کردن این نوع موسیلاژها را پیشنهاد کرده‌اند [۱۴].

۴- نتیجه‌گیری

دانه‌های گیاه بالنگو دارای مقادیر زیادی صمغ با خواص عملکردی مناسب هستند که بعد از استخراج از این دانه‌ها و خشک شدن، می‌توانند به‌صورت پودر در فرمولاسیون محصولات غذایی مختلف استفاده شود. در این مطالعه اثر زمان پرتودهی با لامپ فرسوخ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت نمونه‌ها بر تغییرات وزن و خروج رطوبت صمغ دانه بالنگو در طی خشک‌کردن با خشک‌کن فرسوخ مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر ذکر شده بر مقدار سینتیک تغییرات وزن و خروج رطوبت از محلول صمغ مؤثر بودند. با کاهش فاصله نمونه از لامپ و کاهش ضخامت نمونه‌ها، سرعت خروج

به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت^۱ بر روی شبکه بهینه ایجاد شده توسط روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. همان‌طوری که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، به ترتیب زمان پرتودهی، فاصله لامپ از سطح نمونه‌ها و درنهایت ضخامت نمونه‌ها به‌عنوان مؤثرترین عوامل در هنگام پیش‌بینی درصد کاهش وزن صمغ دانه بالنگو در طی خشک‌کردن به روش فرسوخ می‌باشند.

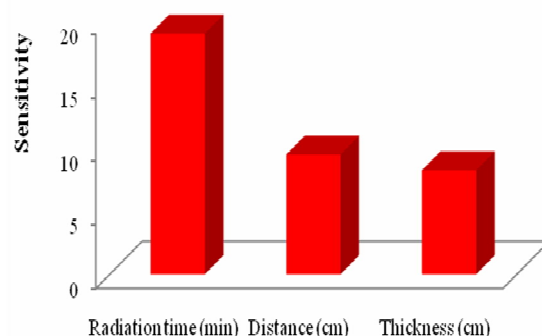


Fig 5 Sensitivity analysis results of Balangu seeds gum drying modeling using infrared system by optimized genetic algorithm-artificial neural network (3-9-1).

- [6] Karaboga, D., Kaya, E. 2019. Adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS) training approaches: a comprehensive survey, *Artificial Intelligence Review*. 52, 2263-2293.
- [7] Fadaie, M., Hosseini Ghaboos, S. H., Beheshti, B. 2020. Characterization of dried persimmon using infrared dryer and process modeling using genetic algorithm-artificial neural network method, *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 17, 189-200.
- [8] Nep, E. I., Conway, B. R. 2011. Physicochemical characterization of grewia polysaccharide gum: Effect of drying method, *Carbohydrate Polymers*. 84, 446-453.
- [9] Doymaz, İ. 2012. Infrared drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices, *Journal of Food Science and Technology*. 49, 760-766.
- [10] Satorabi, M., Salehi, F., Rasouli, M. 2021. Effect of edible coatings on the color and surface changes of apricot slices during drying in infrared system, *Food science and technology*. 18, 21-30.
- [11] Satorabi, M., Salehi, F., 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, 468-480.
- [12] Gitiban, A., Asefi, N. 2019. Modeling of hardness and drying kinetics of "quince" fruit drying in an infrared convection dryer using the artificial neural network, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 15, 465-475.
- [13] Ghanad Zadeh, H., Abbasi, B., Ghavidel, M., Emami, N. 2016. Drying kinetics of tea using artificial neural network model, *Journal of food science and technology (Iran)*. 13, 227-237.
- [14] Amini, G., Salehi, F., 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, e15258.

رطوبت از نمونه‌ها افزایش یافت و با سرعت بیشتری وزن نمونه‌ها کاهش یافت. مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی درصد کاهش وزن به‌عنوان تابعی از زمان پرتودهی، فاصله لامپ از سطح نمونه‌ها و ضخامت نمونه‌های صمغ دانه بالنگو (ورودی‌های شبکه) در طی خشک‌کردن به روش فرسوخ استفاده گردید. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با ساختار (۱-۹-۳) با تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک با ضریب همبستگی بالا (۰/۹۹۹) و مقدار میانگین مربعات خطا پایین (۰/۷۸۸) در مقایسه با سایر ساختارهای شبکه، نتایج بهتری را برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن صمغ دانه بالنگو هنگام خشک کردن با سامانه فرسوخ ارائه می‌کند. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که زمان پرتودهی به‌عنوان مؤثرترین پارامتر در تعیین درصد کاهش وزن صمغ دانه بالنگو هنگام خشک کردن در یک خشک‌کن فرسوخ است.

۵- منابع

- [1] Amini, G., Salehi, F., 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, 23-31.
- [2] Salehi, F. 2020. Edible coating of fruits and vegetables using natural gums: A review, *International Journal of Fruit Science*. 20, S570-S589.
- [3] Nowrouzi, S., Ghods Rohani, M., Rashidi, H. 2021. Effects of balangu seed gum on physicochemical and sensory characteristics of low-fat fresh yoghurts, *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. 16, 69-78.
- [4] Farokhpour, F., Roomiani, L., Zarinabadi, S. 2021. Experimental investigation of fish fillet drying process using IR radiation, *Research and Innovation in Food Science and Technology*. 10, 83-94.
- [5] Salehi, F. 2020. Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review, *International Journal of Fruit Science*. 20, 586-602.



Experimental investigation and modeling of drying process of Balangu seeds gum using infrared dryer by genetic algorithm-artificial neural network method

Godini, N.¹, Gohari Ardabili, A.^{2*}, Salehi, F.³

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, Department of Food Science and Technology, Bahar Faculty of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Bahar Faculty of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

ABSTRACT

The genetic algorithm (GA) optimization method can be used to overcome the inherent limitations of artificial neural network (ANN). Genetic algorithm-artificial neural network (GA-ANN) method has a high capability to find the optimum value of a complex objective function. In this study, first, to Balangu seeds gum drying, an infrared dryer was used. In this infrared dryer, the effect of distance of samples from lamp at three levels of 5, 7.5 and 10 cm and the effect of height of the gum inside the container at three levels of 0.5, 1 and 1.5 cm on drying time and weight loss percentage of Balangu seeds gum during drying time, were investigated. The results of Balangu seeds gum drying using infrared method showed that with decreases in sample distance from the heat source and also with decreases in thickness of the gum in the sample container, drying time were decreased. With increasing in the lamp distance from 5 to 10 cm, the average drying time of Balangu seeds gum increased from 62.6 minutes to 87.6 minutes. With sample thickness increasing from 0.5 to 1.5 cm, the average drying time of Balangu seeds gum increased from 45.9 to 109.2 minutes. In the next step, this process was modeled by GA-ANN method with 3 inputs (radiation time, lamp distance from samples surface and thickness of samples) and 1 output (weight loss percentage). The results of modeling with GA-ANN method showed that the net work with structure of 3-9-1 in a hidden layer and using the hyperbolic tangent activation function could predict the weight loss percentage of Balangu seeds gum during drying in an infrared dryer with high correlation coefficient (0.999) and low mean squared error (0.788).

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2022/ 01/ 23
Accepted 2022/ 02/ 27

Keywords:

Balangu seed gum,
Genetic algorithm-artificial
neural network,
Radiation,
Weight loss percentage.

DOI: 10.52547/fsct.19.124.31

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.25.2

*Corresponding Author E-Mail:
a.gohari@basu.ac.ir