مدل‌سازی فرآیند خشک کردن توت‌فرنگی توسط خشک کن فروسرخ به روش الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی مصنوعی

فخرالدین صالحی[1*]، اشرف گوهری اردبیلی [1]، آذر نعمتی [2]، راضیه لطیفی داراب [2]

۱- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲- دانشجوی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
(تاریخ دریافت: ۹۵/۰٦/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱٦)

چکیده

به دلیل بهره‌وری پایین انرژی و مدت زمان طولانی خشک کردن محصولات کشاورزی با روش‌های متداول، استفاده از روش‌های نوین نظیر پرتودهی فروسرخ باید بررسی شوند. در این مطالعه جهت خشک کردن و افزایش زمان ماندگاری توت‌فرنگی، از روش پرتودهی فروسرخ استفاده گردید. اثر توان لامپ فروسرخ (۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات)، فاصله نمونه از لامپ (۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر) و در مدت زمان ۱۱۰ دقیقه بر خشک کردن توت‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خشک کردن توت‌فرنگی به روش فروسرخ نشان داد با افزایش توان لامپ و کاهش فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی، سرعت خشک کردن افزایش می‌یابد. با افزایش توان لامپ فروسرخ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، مقدار کاهش وزن ٦۹/۲٤ درصد افزایش یافت. با افزایش فاصله نمونه‌ها از ۵ به ۱۰ سانتی‌متر، سرعت خشک شدن ۲۳/۵۵ درصد کاهش یافت. مدل‌سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی مصنوعی با ۳ ورودی (توان لامپ، فاصله لامپ و زمان) و ۱ خروجی (کاهش وزن) انجام شد. نتایج مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی مصنوعی نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۹ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک می‌توان درصد کاهش وزن در طی فرآیند خشک کردن توت‌فرنگی به روش فروسرخ را پیشگویی نمود (R^2=۰/۹۹۹). نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه نشان داد که توان لامپ فروسرخ به عنوان مؤثرترین عامل در کنترل کاهش وزن برش‌های توت‌فرنگی می‌باشد.

کلید واژگان: الگوریتم ژنتیک، آنالیز حساسیت، توت‌فرنگی، فروسرخ.

*مسئول مکاتبات: F.Salehi@basu.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-24]

۱- مقدمه

کاهش مقدار آب موجود در محصولات کشاورزی یکی از روش‌های نگهداری مواد غذایی است که مورد توجه بشر بوده است. گرچه استفاده از هوای داغ در خشک کردن روش مرسومی است، اما اثرات سویی بر کیفیت محصول از جمله تغییر رنگ و سفتی بافت محصول خشک شده می‌گذارد. به همین علت می‌بایست از روش‌های دیگری برای بهبود کیفیت محصول نهایی استفاده نمود [۱].

توت‌فرنگی متعلق به تیره گل سرخیان[1] و جنس فراگاریا[2] بوده و گیاهی علفی چندساله می‌باشد. رشد این گیاه علفی در آب‌وهوای معتدل گرم و در بستر غنی از گیاخاک و خاک اسیدی بسیار خوب است. میوه توت‌فرنگی حاوی ویتامین‌های E، C و B و انواع آنتی‌اکسیدان‌ها می‌باشد [۲]. توت‌فرنگی به صورت خام و یا فرآوری شده استفاده می‌شود. از جمله محصولات تولیدی از میوه توت‌فرنگی می‌توان به فرآورده‌هایی مثل مربا، شربت، کمپوت، ژل و طعم‌دهنده‌ها اشاره کرد. توت‌فرنگی به دلیل میزان تنفس بالا، مقدار آب فراوان (حدود ۹۱ ٪)، فعالیت متابولیکی بالا و حساسیت به فساد قارچی زمان نگهداری کوتاهی دارد [۳, ٤].

با استفاده از روشی مناسب جهت کاهش رطوبت محصول، می‌توان خطر آلودگی آن را کاهش و مدت نگهداری را طولانی‌تر، و همچنین هزینه نگهداری و حمل و نقل را کاهش داد [۵]. لذا بررسی و یافتن یک روش مناسب برای خشک کردن توت‌فرنگی خوراکی که باعث تولید محصولی با کیفیت بالا شود، ضروری می‌باشد. امروزه پرتودهی با فروسرخ (IR) به عنوان منبع انرژی حرارتی برای خشک کردن بسیاری از محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. پرتو فروسرخ بخشی از طیف الکترومغناطیسی بوده و به سه دسته فروسرخ نزدیک با دامنه ۱/٤-۰/۷۵ میکرومتر، فروسرخ متوسط با دامنه ۳-۱/٤ میکرومتر و فروسرخ دور با دامنه ۱۰۰۰-۳ میکرومتر تقسیم می‌شود. پرتودهی با فروسرخ در مقایسه با روش‌های حرارت دهی متداول دارای مزایای متعددی است و کیفیت محصول خشک شده بالاتر است. در این روش زمان فرایند کوتاه‌تر و میزان مصرف انرژی کمتر می‌باشد. همچنین می‌توان اندازه و حجم تجهیزات مورد استفاده را کاهش داد و امکان پایش پارامترهای فراوری نیز وجود دارد [٦, ۷]. جذب پرتو توسط موادغذایی عمدتاً به میزان آب، ضخامت و ماهیت فیزیکوشیمیایی محصول بستگی دارد. Hebbar و همکاران (۲۰۰٤) از یک خشک‌کن ترکیبی فروسرخ با هوای داغ در سه حالت ترکیبی، فروسرخ به‌تنهایی و هوای داغ به‌تنهایی برای خشک کردن 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 [۸]. Afzal و همکاران (۱۹۹۹) [۹] میزان مصرف انرژی و کیفیت جو خشک شده را در دو خشک‌کن همرفتی و ترکیبی فروسرخ و هوای داغ مقایسه کردند. این محققان گزارش کردند که استفاده از اشعه فروسرخ در خشک‌کن همرفتی باعث افزایش سرعت خشک شدن و کاهش قابل توجه انرژی مصرفی نسبت به خشک‌کن همرفتی بدون استفاده از اشعه فروسرخ می‌شود.

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)[3] قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند [۱۰]. 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 عموماً به وسیله آزمون و خطا انجام می‌شود که وقت‌گیر بوده و دارای خطا می‌باشد. لذا روش‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک[4] در جهت غلبه بر این مشکل ذاتی شبکه‌های عصبی و به دست آوردن تعداد بهینه نرون‌ها در لایه پنهان مورد استفاده قرار گیرند. الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت است و بر این اساس که بهترین‌ها حق بقا دارند، شکل گرفته است. مفاهیم اصلی GA شامل عملگرهای سه‌گانه انتخاب[5]، آمیزش[6] و جهش[7] که در مورد سیستم‌های مصنوعی بکار می روند می‌باشد [۱۰, ۱۱]. در فرآیند تکثیر، کروموزوم‌هایی با شایستگی بالا شانس تکرار بیشتر در جمعیت منتخب را پیدا می‌کنند که این کار توسط فرآیند انتخاب صورت می‌پذیرد. پس از تکمیل فرآیند انتخاب، نوبت به اعمال عملگر بر روی جهت منتخب به منظور تولید جمعیت فرزندان می‌رسد. در انجام فرآیند پیوند، با انتخاب

1. Rosaceae
2. Fragaria

3. Artificial Neural Network (ANN)
4. Genetic Algorithm(GA)
5. Selection
6. Crossover
7. Mutation

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-24]

مقدار ثابت نرخ پیوند، به ترتیب برای هر کروموزوم یک عدد تصادفی تولید می‌شود. اگر عدد تصادفی تولید شده از نرخ پیوند کمتر باشد، این کروموزوم انتخاب می‌شود تا با کروموزوم‌های بعدی که شرایط فوق را دارد، آمیزش نماید. در انجام فرآیند جهش، با انتخاب مقدار ثابت نرخ جهش، برای کلیه بیت‌های کروموزوم های جمعیت عدد تصادفی تولید می‌شود. اگر عدد تصادفی تولید شده از نرخ جهش کوچک‌تر باشد، مقدار آن بیت عوض یعنی مقدار صفر به یک و یا بالعکس تبدیل می‌شود. الگوریتم ژنتیک هنگامی که برخی ضوابط مانند تعداد معینی تولید نسل و یا میانگین انحراف معیار عملکرد اشخاص جمعیت تأمین شود، به پایان می‌رسد [١٠, ١١].

Salehi و همکاران (٢٠١٥) به منظور پیشگویی کاهش وزن، کاهش آب و جذب مواد جامد، در طی خشک کردن اسمزی زردآلو، از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند. نتایج این محققان نشان داد که بهترین مدل برای پیشگویی پارامترهای فوق دارای ١ لایه پنهان و ١٤ نرون در هر لایه می‌باشد [١٢].

تعداد مطالعات محدودی در خصوص کاربرد مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی فرآیندهای خشک کردن مواد غذایی گزارش شده است. لذا هدف این تحقیق بررسی اثر عوامل مختلف (توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و مدت زمان خشک کردن) بر خشک کردن توت‌فرنگی به روش فروسرخ و مدل‌سازی انتقال جرم فرآیند با استفاده از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

٢- مواد و روش‌ها

٢-١- خشک کردن

برای انجام آزمایش‌ها توت‌فرنگی از گلخانه‌ای در استان همدان تهیه گردید. برای انجام فرآیند خشک‌کردن ابتدا توت‌فرنگی‌ها به قطعاتی با ضخامت ٠/٥ سانتی‌متر برش داده شدند. ورقه‌های توت‌فرنگی بلافاصله پس از برش جهت پرتودهی توسط خشک‌کن فروسرخ مورداستفاده قرار گرفتند. جهت خشک‌کردن نمونه‌های برش خورده با خشک‌کن فروسرخ از متغیرهایی شامل توان‌های لامپ فروسرخ[1] در سه سطح ١٥٠، ٢٥٠ و ٣٧٥ وات و فاصله لامپ از نمونه در سه سطح ٥، ٧/٥ و ١٠ سانتی‌متر استفاده شد. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی[2] با دقت ٠/٠١ ± گرم که در خشک‌کن تعبیه شده بود، ثبت گردید.

میزان کاهش وزن (WR)[3]، از طریق معادله زیر محاسبه گردید.

$$WR = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100$$

WR: درصد کاهش وزن توت‌فرنگی

M_0: جرم اولیه نمونه (gr)

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

کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت. تجزیه و تحلیل آماری در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی موردبررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل نسخه ٢٠٠٧ استفاده شد. برای تجزیه‌وتحلیل آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ٩/١ استفاده شد. مقایسه میانگین در سطح ٥ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

٢-٢- مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی

مدل‌سازی فرآیند خشک کردن توت‌فرنگی به روش فروسرخ جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به روش الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیشخور انجام پذیرفت. خروجی نرون‌های لایه پنهان و خروجی (y) از طریق افزایش بایاس[4] به مجموع ورودی‌های وزن دار شده با استفاده از رابطه ٢ محاسبه می‌شود [١٣].

$$y_j = \sum_{i=1}^{p} [f(W]_{ij} X_i + b_j)$$

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 مدت زمان خشک کردن) و یک خروجی (درصد

1. Infrared Heat Lamp (NIR), Noor Lamp Company, Iran.

2. Digital balance, LutronGM-300p (Taiwan)
3. Weight Reduction
4. Bias

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-24]

کاهش وزن) در نظر گرفته شد (شکل ۱). تعداد نرون‌های لایه پنهان، وابستگی کامل به نوع کاربرد و شرایط تعیین پارامترهای شبکه دارد. برای رسیدن به ترکیبی مناسب از تعداد نرون‌ها در لایه پنهان که حداقل خطا را در بر داشته باشد، فرآیند بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها در لایه پنهان شبکه عصبی به روش الگوریتم ژنتیک انجام گرفت. جمعیت اولیه برای تولید نسل‌ها ۱۰۰ و حداکثر تعداد نسل‌ها نیز ۱۰۰ نسل در نظر گرفته شده است [۱۰, ۱۳]. احتمال آمیزش و جهش بر اساس توصیه راهنمای نرم‌افزار نروسولوشن[1] (نسخه٦)، ۰/۹ و ۰/۰۱ ؛ و تعداد نرون‌ها جهت بهینه‌سازی ۱ تا ۳۰ عدد در نظر گرفته شد. از توابع فعال‌سازی[2] خطی، سیگموئیدی[3] (رابطه ۳) و تانژانت هیپربولیک[4] (رابطه ٤) که متداول‌ترین نوع توابع فعال‌سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید. در این پژوهش روش بهینه‌سازی لونبرگ–مارکوت به منظور یادگیری شبکه مورد استفاده قرار گرفت [۱۰, ۱۳].

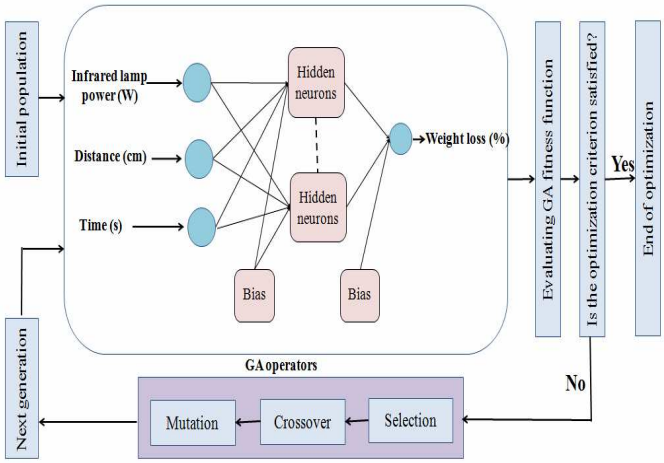

Fig 1 Schematic of optimization by genetic algorithm-artificial neural network

$$Sig = \frac{1}{1+e^{-x}}$$

$$\tanh = \frac{e^{x}-e^{-x}}{e^{x}+e^{-x}}$$

1. Neurosolution software (Excel software release 6.0), NeuroDimension, Inc., USA
2. Activation function
3. Sigmoid functions
4. Hyperbolic tangent function

به منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده‌شده پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی[5] استفاده گردید. نرم‌افزار نروسولوشن جهت مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی استفاده گردید. در این نرم‌افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی؛ تعداد داده‌های استفاده‌شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لیونبرگ–مارکت[6]، بهترین ساختار[7] شبکه جهت دست‌یابی به شبکه بهینه بررسی شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خشک کردن

جهت بررسی اثر توان لامپ فروسرخ بر سرعت خشک شدن برش‌های توت‌فرنگی، از سه لامپ فروسرخ با توان‌های ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات استفاده گردید. نتایج نشان داد که تغیر توان لامپ اثر معنی‌داری ($P<0/05$) بر خروج آب از برش‌های توت‌فرنگی دارد و با افزایش توان لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، در یک فاصله ثابت از نمونه‌ها و در مدت زمان ۲۰ دقیقه، با افزایش توان لامپ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، مقدار کاهش وزن ٦۹/۲٤ درصد افزایش یافته است. Amiri Chayjan و همکاران (۲۰۱۳) از یک خشک‌کن فروسرخ با توان‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ وات جهت خشک کردن پسته استفاده کردند. نتایج حاکی از افزایش نفوذپذیری رطوبت با افزایش توان فروسرخ می‌باشد. همچنین توان فروسرخ اثر معنی‌داری بر زمان خشک شدن پسته دارد و با افزایش توان، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد [١٤].

در شکل ۳ اثر زمان خشک کردن ورقه‌های توت‌فرنگی توسط سامانه مادون بر درصد کاهش وزن نمونه‌ها به نمایش در آمده است. با افزایش زمان خشک شدن نیز مقدار رطوبت خارج‌شده از نمونه‌ها افزایش یافته است.

5. Correlation coefficient (r)
6. Levenberg–Marquardt (LM)
7. Topology

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-24]

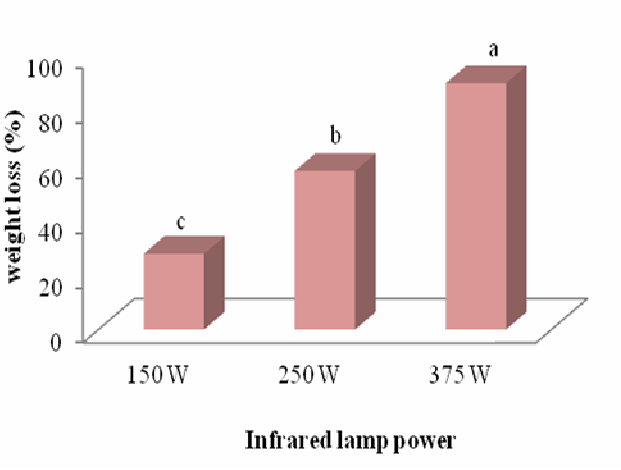

Fig 2 Effect of infrared lamp power on weight loss of strawberry (20 min and 10 cm).

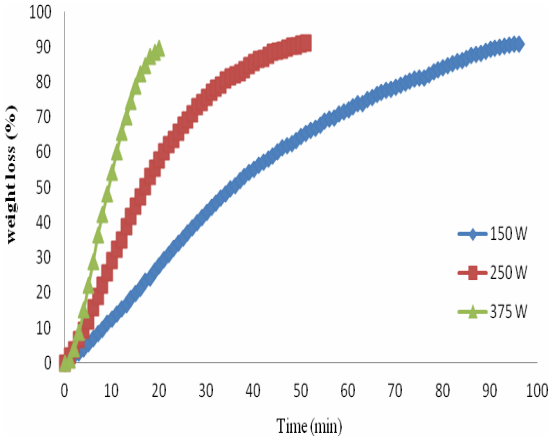

Fig 3 Effect of infrared lamp power and drying time of on weight loss of strawberry (10 cm).

نتایج حاکی از معنی‌دار بودن ($P<0/05$) اثر تغیر فاصله لامپ از نمونه‌ها، بر مقدار کاهش وزن برش‌های توت‌فرنگی دارد و با کاهش فاصله لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. در شکل ٤ اثر فاصله لامپ فروسرخ از ورقه‌های توت‌فرنگی بر درصد کاهش وزن نمونه‌های به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش فاصله نمونه‌ها از منبع فروسرخ، سرعت خشک شدن و کاهش رطوبت نمونه‌های توت‌فرنگی کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله لامپ ١٥٠ وات از ٥ به ١٠ سانتی‌متر و در مدت زمان ٦٠ دقیقه، درصد کاهش وزن از ٩١/٢٩ به ٦٩/٧٩ درصد برای نمونه توت‌فرنگی کاهش یافت. 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 افزایش ضریب نفوذ مؤثر و کاهش زمان خشک کردن می‌شود [٦, ٧].

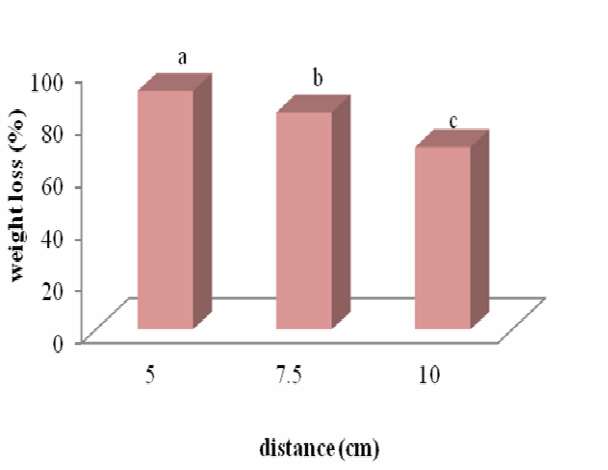

Fig 4 Effect of infrared lamp distance from strawberry slices on weight loss (60 min and 150 W).

٣-٢- نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

به منظور پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن توت‌فرنگی به روش فروسرخ از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و مدت زمان خشک کردن به عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و درصد کاهش وزن به عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک به دست آمد، این نوع تابع به عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید.

بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ٢٠ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد (جدول ١). ١٠ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش‌دیده استفاده گردید. به منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (٧٠ درصد) استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ٩ نرون در لایه پنهان می‌تواند به خوبی درصد کاهش وزن (R^2=٠/٩٩٩) در طی فرآیند خشک کردن خشک کردن توت‌فرنگی به روش فروسرخ را پیشگویی نماید (جدول ٢).

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-24]

Table 1 Optimal values of the genetic algorithm–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	9	20%	10%	70%

Table 2 The errors values in the prediction of testing data by optimal artificial neural network with 9 neurons in the hidden layer

Weight loss (%)	Error
0.877	Mean squared error
0.001	Normalized Mean squared error
0.612	Mean absolute error
0.999	Correlation coefficient

مقدار میانگین مربعات خطا[1] در برابر تعداد نسل های تشکیل شده، در شکل ۵ به نمایش در آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در همان نسل های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل حدود ۱۵ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می رسد. کاهش سریع در نمودار میانگین مربعات خطا در سیکل های اولیه آموزش نشان از یادگیری سریع شبکه می باشد که این از ویژه‌گی‌های شناخته شده تکنیک اپتیمم سازی لیونبرگ–مارکت می باشد [۱۵].

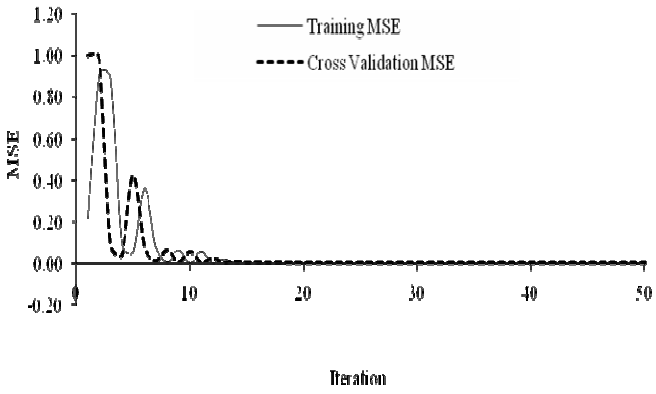

Fig 5 Mean square error (MSE) values as a function of the learning iterations number during training and validation by artificial neural network

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

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۷۰ درصد داده استفاده‌نشده توسط شبکه) و پیشگویی شده درصد کاهش وزن توسط شبکه عصبی بهینه (۳/۹/۱) در شکل ٦ نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

مدل‌سازی ریاضی خشک کردن لایه نازک توت فرنگی توسط محققان بررسی شده است. نتایج برازش داده‌های آزمایشگاهی با مدل‌های مختلفی حاکی از مناسب بودن مدل پیج در دمای ٦۰ درجه سلسیوس (R^2=۰/۹۹۹٤) و مدل پیج اصلاح شده برای دماهای ۷۰ درجه سلسیوس (R^2=۰/۹۹۹۵) و ۸۰ درجه سلسیوس (R^2=۰/۹۹۸٦) جهت بررسی سینتیک خشک کردن توت فرنگی بوده است [١٦]. مدل‌سازی ریاضی خشک کردن توت فرنگی با هوای داغ توسط Akpinar و Bicer (۲۰۰٦) بررسی شده است. این محققان گزارش کرده‌اند که مدل خشک کردن پیج اصلاح شده به خوبی منحنی خشک شدن توت فرنگی را با ضریب همبستگی برابر R^2=۰/۹۸۰٤ توصیف می‌نماید [۱۷].

Salehi و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی مدل‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی زردآلو با استفاده از الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. ساختارهای مختلف شبکه عصبی چند لایه پرسپترون برای پیشگویی انتقال جرم زردآلو آبگیری شده را مورد آزمون قرار داده و نتایج گزارش شده نشان داد شبکه‌ای با تعداد ١٤ نرون در یک لایه پنهان به خوبی درصد کاهش وزن (R^2=۰/۹۸)، درصد کاهش آب (R^2=۰/۹۷) و مقدار جذب مواد جامد (R^2=۰/۹٦) در طی فرآیند خشک کردن اسمزی زردآلو را پیشگویی نماید. این مدل می‌تواند به منظور تولید محصولی با کیفت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات فرآوری و بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار گیرد [۱۲].

1. Mean squared error (MSE)

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-24]

Erenturk و همکاران (٢٠٠٧) نیز از روش‌های الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی فرآیند خشک کردن هویج استفاده نمودند [١٨]. نتایج این محققان حاکی از قدرت بالای این روش جهت مدل‌سازی فرآیندهای خشک کردن مواد غذایی می‌باشد. همچنین Lertworasirikul و همکاران (٢٠١٠) مدل‌سازی انتقال جرم آبگیری اسمزی پوست لیموی آفریقایی را توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پیش بینی 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 ٠/٠٠٦٦ و بیش‌ترین میانگین ضریب رگرسیون ٠/٩٧٢٥ با یک لایه مخفی و پنج نرون و روش بهینه‌سازی لیونبرگ–مارکوت به دست می‌آید [١٩].

Table 3 The weights and bias values of optimized neural network (3-9-1).

Hidden neurons	Bias	Input neurons			Output neurons
		Infrared lamp power (W)	Distance (cm)	Time (s)	Weight loss
1	-2.133	5.407	4.996	-0.533	3.889
2	-1.396	0.317	-2.023	-1.621	-1.514
3	-0.711	-1.099	0.671	0.353	0.332
4	0.970	-1.221	0.652	0.455	0.535
5	0.392	-0.254	1.632	0.024	-0.707
6	5.598	0.865	-0.073	0.070	4.353
7	-0.321	-0.051	0.353	0.045	1.701
8	1.792	0.070	0.455	0.134	1.520
9	0.223	0.455	1.127	0.046	0.455
Bias					1.698

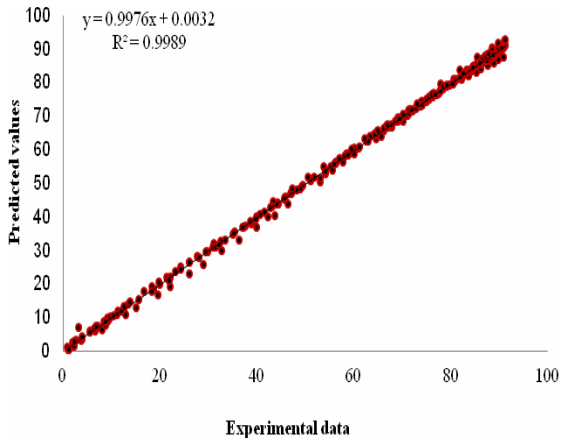

Fig 6 Experimental data versus predicted values of weight loss during strawberry drying by infrared method.

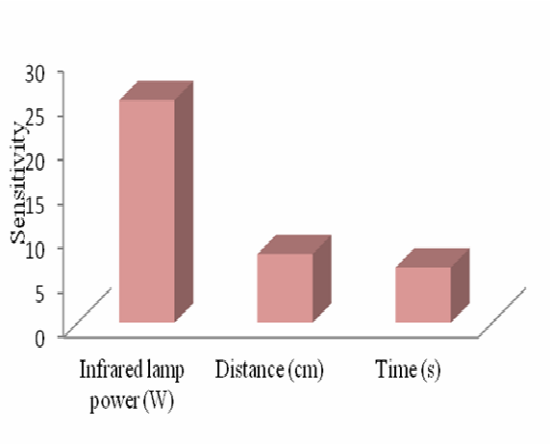

Fig7 Sensitivity analysis results of strawberry drying modeling using infrared method by optimized neural network (3-9-1).

به منظور بررسی مقدار تأثیر گذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیر گذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت[1] بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری که در شکل ٧ مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، توان لامپ فروسرخ به عنوان مؤثرترین عامل در هنگام پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن توت‌فرنگی به روش فروسرخ می‌باشد.

٤- نتیجه‌گیری

در خشک کردن میوه‌ها با توجه به حساسیت آن‌ها، کاهش مدت زمان خشک کردن می‌تواند باعث حفظ کیفیت اولیه محصول گردد. در این مطالعه اثر توان لامپ فروسرخ، فاصله نمونه از لامپ و زمان بر درصد کاهش وزن در طی خشک

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-24]

کردن توت‌فرنگی به روش فروسرخ مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر ذکر شده بر مقدار خروج آب و کاهش وزن مؤثر هستند. با افزایش توان لامپ فروسرخ و کاهش فاصله نمونه از لامپ، مقدار رطوبت خارج‌شده از نمونه‌ها افزایش یافت. مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- عصبی مصنوعی جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به عنوان تابعی از توان لامپ فروسرخ، فاصله نمونه از لامپ و زمان خشک کردن (ورودی‌های شبکه) در طی خشک کردن به روش فروسرخ استفاده گردید. از روش الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها در لایه مخفی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان داد شبکه دارای ۹ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک در لایه پنهان و خروجی، و با استفاده از روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت، شبکه به خوبی قادر به پیشگویی درصد کاهش وزن با ضریب همبستگی بالا (۰/۹۹۹) می‌باشد. نتایج آنالیز حساسیت، توان لامپ فروسرخ را به عنوان مؤثرترین پارامتر بر روی تغییر درصد کاهش وزن توت‌فرنگی معرفی نمود.

۵- منابع

[1] Salehi, F., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahoonak, A., Ziaiifar, A. M. 2016. Drying of Button Mushroom by Infrared-Hot Air System, Iranian journal of food science and technology. 59, 151-159.

[2] Samimi Akhijahani, H., Khodaei, J. 2011. Some Physical Properties of Strawberry (Kurdistan variety), World Applied Sciences Journal. 13, 206-212.

[3] Zhang, M., Xiao, G., Salokhe, V. M. 2006. Preservation of strawberries by modified atmosphere packages with other treatments, Packaging Technology and Science. 19, 183-191.

[4] El-Beltagy, A., Gamea, G., Essa, A. A. 2007. Solar drying characteristics of strawberry, Journal of Food Engineering. 78, 456-464.

[5] Salehi, F., Kashaninejad, M., Akbari, E., Sobhani, S. M., Asadi, F. 2016. Potential of Sponge Cake Making using Infrared–Hot Air Dried Carrot, Journal of texture studies. 47, 34-39.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] Afzal, T., Abe, T., Hikida, Y. 1999. Energy and quality aspects during combined FIR-convection drying of barley, Journal of Food Engineering. 42, 177-182.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 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.

[14] Amiri Chayjan, R., Bahrabad, S. M. T., Rahimi Sardari, F. 2014. Modeling infrared covective drying of pistachio nuts under fixed and fluidized bed conditions, Journal of Food Processing and Preservation. 38, 1224-1233.

[15] 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.

[16] Al-Hilphy, A. R. S., AlRikabi, A. K. J. 2013. Mathematical modeling and experimental study on thin layer halogen dryer of strawberry and study it's effect on

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-24]

antioxidant activity, American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 8, 268.
[17] Akpinar, E. K., Bicer, Y. 2006. Mathematical modeling and experimental study on thin layer drying of strawberry, International Journal of Food Engineering. 2, 5.
[18] 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.
[19] 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 2024-04-24]

Modeling of strawberry drying process using infrared dryer by genetic algorithm–artificial neural network method

Salehi, F. [1*], Gohari Ardabili, A. [1], Nemati, A. [2], Latifi Darab, R. [2]

1 Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2 Student, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
(Received: 2016/09/02 Accepted: 2017/02/04)

Due to low energy efficiency and prolonged drying time of agricultural products by conventional methods, application of the new techniques such as infrared radiation, must be investigated. In this study, to drying and increased shelf life of the strawberry, infrared radiation (IR) method was used. The effect of infrared lamp power (150, 250 and 375 watts), the distance of sample from lamp (5, 7.5 and 10 cm) and time of 110 minute on drying of strawberry were examined. The results of infrared drying of strawberry showed that with increasing in lamp power and decreases in sample distance from the heat source, the drying rate was increased. With increase in infrared power from 150 to 375 watts, drying rate 69.24% increased. By increasing in sample distance from 5 to 10 cm, drying rate 23.55% decreased. Modeling of process was done with the genetic algorithm–artificial neural network (GA-ANN) method with 3 inputs (lamp power, distance and time) and 1 output (weight loss). The GA-ANN modeling results showed a network with 9 neurons in 1 hidden layer with using hyperbolic tangent activation function can be predict the weight loss in strawberry drying by infrared method (R^2=0.999). Sensitivity analysis results by optimum ANN showed the infrared power was the most sensitive factor to controlling the weight loss of strawberry slides.

Keywords: Genetic algorithm, Infrared, Sensitivity analysis, Strawberry.

* Corresponding Author E-Mail Adddress: F.Salehi@basu.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-24]