

بررسی اثر پیش تیمار فراصوت بر سرعت خشک شدن گیلاس و مدل سازی فرآیند توسط روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

فخرالدین صالحی^{a*}، معین اینانلودوقوز^b، سارا قزوینه^c

^a دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
^b دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
^c دانشجوی کارشناسی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸

DOI. 10.30495/jftn.2023.73772.11258

<https://doi.net/dor/20.1001.1.20080123.1402.20.4.1.5>

چکیده

مقدمه: به دلیل رطوبت بالا، سرعت فساد گیلاس بسیار زیاد است و برای نگهداری مؤثر نیاز به استفاده از برخی تیمارهای پس از برداشت دارد. خشک کردن یکی از این روش‌های نگهداری است. امواج فراصوت را می‌توان به‌عنوان یک پیش‌تیمار قبل از خشک کردن محصولات کشاورزی به‌منظور کاهش زمان این فرآیند استفاده نمود. روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی دارای قابلیت بالایی برای یافتن مقدار بهینه یک تابع هدف پیچیده است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش اثر تیماردهی با امواج فراصوت به مدت ۰، ۳، ۶ و ۹ دقیقه بر زمان خشک شدن، تغییرات وزن و آبگیری مجدد گیلاس بررسی شد. در مرحله بعد، این فرآیند توسط روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی با ۲ ورودی (زمان خشک کردن و زمان پیش تیمار فراصوت) و ۱ خروجی (درصد کاهش وزن) مدل سازی شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار فراصوت تا ۳ دقیقه، سبب افزایش سرعت خروج رطوبت از گیلاس‌ها و در نتیجه باعث کاهش زمان خشک کردن می‌گردد. تیماردهی با امواج فراصوت به مدت ۳ دقیقه باعث افزایش آبگیری مجدد گیلاس خشک شده شد؛ اما با افزایش زمان تیماردهی به ۶ و ۹ دقیقه مقدار آبگیری مجدد کاهش یافت. نتایج مدل سازی به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نشان داد شبکه‌ای با ساختار ۱-۴-۲ در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک می‌تواند درصد کاهش وزن گیلاس هنگام خشک شدن را با ضریب همبستگی بالا و مقدار خطا پایین پیش‌بینی نماید. بر اساس نتایج آزمون آنالیز حساسیت، زمان خشک کردن به‌عنوان مؤثرترین عوامل در تغییر درصد کاهش وزن گیلاس طی فرآیند خشک کردن بود.

نتیجه گیری: به‌طور کلی، بهترین شرایط برای خشک کردن گیلاس، ۳ دقیقه پیش تیمار با فراصوت و سپس خشک کردن محصول با هوای داغ است. با توجه نتایج به دست آمده از مدل سازی، از روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نیز می‌توان برای پیش‌بینی پارامترهای فرآیند خشک کردن گیلاس استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آبگیری مجدد، آنالیز حساسیت، تابع فعال سازی، فراصوت، گیلاس

مقدمه

نام علمی گیلاس یا گیلاس شیرین^۱ *Prunus avium* L و نام علمی آلبالو یا گیلاس ترش^۲ *Prunus cerasus* L می‌باشد. گیلاس نه تنها به صورت تازه مصرف می‌شود، بلکه برای تولید مربا، ژله، کمپوت، مارمالاد، شربت و چندین نوع نوشیدنی نیز استفاده می‌شود (Doymaz and İsmail, 2011; Vursavuş et al., 2006). گیلاس به دلیل ارزش غذایی زیاد و محتوای ترکیبات فنلی، میوه‌ای محبوب در سراسر جهان است (Hu et al., 2021). به دلیل رطوبت بالا، سرعت فساد گیلاس بسیار زیاد است و برای نگهداری مؤثر نیاز به استفاده از برخی تیمارهای پس از برداشت دارد. خشک کردن یکی از این روش‌های نگهداری است (Doymaz and İsmail, 2011). میوه‌های خشک ماندگاری طولانی‌تری دارند و بنابراین می‌توانند جایگزین خوبی برای میوه‌های تازه باشند و امکان دسترسی به میوه‌های خارج از فصل را فراهم کنند (Salehi, 2021).

خشک کردن را می‌توان به عنوان یک روش نگهداری صنعتی توصیف کرد که در آن محتوای آب و فعالیت آبی میوه‌ها و سبزی‌ها توسط هوای گرم کاهش می‌یابد تا زوال بیوشیمیایی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی به حداقل برسد. هدف اصلی در خشک کردن محصولات کشاورزی، کاهش رطوبت آنها به حدی است که امکان ذخیره‌سازی ایمن را در مدت طولانی فراهم می‌کند. از دیگر مزایای محصولات خشک شده می‌توان به نیاز کمتر به مواد بسته‌بندی و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل به دلیل کاهش وزن محصول اشاره کرد (Doymaz and İsmail, 2011; Salehi, 2021). Doymaz and İsmail (2011) سرعت خشک شدن گیلاس با خشک‌کن هوای داغ با دماهای ۶۰، ۷۰ و ۷۵ درجه سلسیوس را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که دمای هوای خشک‌کن تأثیر مستقیمی بر زمان خشک شدن گیلاس تازه و آگیری مجدد محصول دارد.

استفاده از امواج فراصوت (اولتراسوند^۳) به عنوان پیش‌تیمار، روش غیرحرارتی مناسبی به منظور افزایش بهره‌وری است و در طی اعمال این فرآیند، خصوصیات فیزیکیوشیمیایی و کیفی ماده غذایی نیز آسیب کمتری می‌بینند (Salehi, 2020a; Xu et al., 2022).

بررسی اثر پیش تیمار فراصوت بر سرعت خشک شدن گیلاس و مدل‌سازی فرآیند

فراصوت با مکانیسم‌های مختلف منجر به افزایش سرعت خروج رطوبت از ماده غذایی طی فرآیند خشک کردن می‌شوند. این مکانیسم‌ها شامل افزایش دما در لایه مرزی، تغییر فشار در اثر کاویتاسیون، گسترش میکروکانال‌ها به دلیل تنش برشی ایجاد شده توسط پدیده کاویتاسیون، اغتشاش در لایه مرزی و ایجاد تغییرات ساختمانی در محصول می‌باشند (Awad et al., 2012). پیش تیمار فراصوت باعث بهبود کیفیت حسی برخی از میوه‌ها و سبزی‌های خشک شده و کنترل تغییرات رنگ (قهوه‌ای شدن آنزیمی) در این محصولات می‌شود (Cheng et al., 2022). Xu و همکاران (۲۰۲۲) گزارش دادند که پیش تیمار فراصوت ریزساختار برش‌های آناناس را تغییر می‌دهد و این روش علاوه بر کاهش زمان فرآیند، باعث تولید محصولی با کیفیت بالاتر می‌شود.

هدف استفاده از شبیه‌سازی یا مدل‌سازی در فرآیند خشک کردن محصولات کشاورزی در واقع تبدیل کیفیت‌های فیزیکی و رابطه متقابل این کیفیت‌ها به کمیت‌های عددی و روابط ریاضی است. بدین ترتیب یک مدل شامل متغیرها و مجموعه معادلات وابسته به آنها است که می‌تواند تأثیر متقابل این متغیرها را همان‌طور که در دنیای واقعی اتفاق می‌افتد، نشان دهد (Karami et al., 2021). به منظور مدل‌سازی فرآیندها در مواد غذایی از قبیل خشک کردن و پیش‌بینی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها از روش‌های مختلفی استفاده شده است. شبکه عصبی مصنوعی^۴ به عنوان مدل ماشین متصل^۵ شناخته می‌شود که می‌تواند فرآیندهای اساسی سیستم عصبی بیولوژیکی را برای مقابله با چیزهای خارجی شبیه‌سازی کند. الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت است و بر این اساس که بهترین‌ها حق بقا دارند، شکل گرفته است. روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی به طور گسترده‌ای به منظور مدل‌سازی فرآیندهای صنایع غذایی و پیش‌بینی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها استفاده می‌شود (Fadaie et al., 2020a; Salehi, 2020b) و Yusefi و همکاران (۲۰۱۹) از روش الگوریتم ژنتیک - شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی سینتیک خشک کردن

¹ Sweet cherry ² Sour cherry ³ Ultrasound
⁵ Connected machine model

⁴ Artificial Neural Network (ANN)

استفاده شد (Amin Ekhlās et al., 2023). در این روش تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن تا دستیابی به وزن ثابت، توسط ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌صدم گرم (کیا، مدل SL1000، ایران) ثبت شد.

میزان کاهش وزن (WL)^۱، از طریق معادله ۱ محاسبه گردید.

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

WL: درصد کاهش وزن گیلاس

M₀: جرم اولیه نمونه (g)

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

– محاسبه آبیگری مجدد نمونه‌های خشک‌شده

برای اندازه‌گیری مقدار باز جذب آب توسط نمونه‌های خشک‌شده، گیلاس‌های خشک توزین و درون حمام آب (مدل R.J42، شرکت پارس آزما، ایران) با دمای ۵۰ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. بعد از گذشت زمان ۳۰ دقیقه، نمونه‌ها از حمام آب خارج و توزین با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌صدم گرم انجام شد. نسبت باز جذب آب توسط معادله ۲ محاسبه شد (Amin Ekhlās et al., 2023).

$$RR = \frac{M}{M_0} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه پارامترهای M وزن نمونه بعد از باز جذب آب و M₀ وزن نمونه خشک می‌باشند.

– تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش اثر امواج فراصوت بر سرعت خشک شدن گیلاس بررسی شد. این پژوهش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام و برای مقایسه میانگین پاسخ‌های مشاهده شده، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از برنامه (۲۰۰۷) Excel استفاده شد.

برش‌های میوه "به" استفاده کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، دقت تخمین به دست آمده برای شبکه بهینه بالاتر از بهترین مدل تجربی در تمام دماهای مورد آزمایش بوده است. همچنین نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه نشان داده که به دلیل حساسیت بالاتر، دمای مرکز برش‌های میوه "به" مؤثرترین عامل در کنترل میزان نسبت رطوبتی می‌باشد.

بررسی مقاله‌های منتشر شده در منابع معتبر نشان داد که تاکنون در ارتباط با بررسی اثر پیش‌تیمار فراصوت بر سرعت خشک شدن گیلاس و مدل‌سازی آن به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی، پژوهشی صورت نگرفته است؛ بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی اثر پیش‌تیمار فراصوت بر سرعت خشک شدن گیلاس و مدل‌سازی فرآیند با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی بود.

مواد و روش‌ها

– تهیه گیلاس

در این پژوهش، گیلاس تازه از شهر همدان تهیه و تا زمان مصرف در یخچال نگهداری شد. برای تعیین رطوبت اولیه نمونه‌ها، هسته چند گیلاس جدا و بخش خوراکی میوه به مدت ۴ ساعت در آون (شیماز، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد (Hosseini, 2006). در این پژوهش، میانگین رطوبت اولیه گیلاس‌ها ۷۸ درصد برپایه مرطوب بود.

– اعمال تیمار فراصوت

برای اعمال پیش‌تیمار فراصوت بر گیلاس‌ها، از دستگاه حمام فراصوت (مدل vCLEAN1-L6، بکر، ایران) استفاده گردید. برای این منظور، گیلاس‌ها به مدت ۰، ۳، ۶ و ۹ دقیقه داخل دستگاه حمام فراصوت با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز و توان ۱۵۰ وات، قرار گرفتند (Salehi et al., 2022).

– فرآیند خشک‌کردن

برای انجام خشک‌کردن گیلاس‌های تیمار شده با فراصوت از آون فن‌دار با دمای ۷۰ درجه سلسیوس (شیماز، ایران)

^۱ Weight loss

بررسی اثر پیش تیمار فراصوت بر سرعت خشک شدن گیلاس و مدل سازی فرآیند

در آمده است. مشابه شکل قبلی، این شکل هم نشان می‌دهد که زمان ۳ دقیقه باعث افزایش سرعت خروج رطوبت از نمونه و در نتیجه افزایش تغییرات وزن نمونه‌ها شده است. تیمارهای ۶ دقیقه و ۹ دقیقه باعث افزایش سرعت خروج رطوبت از نمونه‌های گیلاس شده‌اند، اما این تغییر معنی‌دار نبود ($p > 0.05$).

– اثر فراصوت بر آبگیری مجدد

در شکل ۳ اثر زمان تیماردهی با فراصوت بر آبگیری مجدد گیلاس خشک شده به نمایش در آمده است. تیماردهی با امواج فراصوت به مدت ۳ دقیقه باعث افزایش آبگیری مجدد گیلاس خشک شده، شد. از نظر آماری اختلاف معناداری بین آبگیری مجدد نمونه‌های تیمار شده با ۳ دقیقه فراصوت و ۶ دقیقه فراصوت وجود دارد ($p < 0.05$) و این دو نمونه به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار آبگیری مجدد را داشتند.

– نتایج مدل سازی الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی مصنوعی

با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک به دست آمد، این نوع تابع به عنوان تابع فعال سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید. بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۳۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد (جدول ۱). ۳۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به منظور ارزیابی شبکه هم از باقی مانده داده‌ها (۴۰ درصد) استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۴ نرون در لایه پنهان می‌تواند به خوبی درصد کاهش وزن گیلاس را طی فرآیند خشک کردن پیش‌بینی نماید ($r = 0.993$) (جدول ۲).

لازمه پیش‌بینی کیفیت و خصوصیات محصول در فرآیندهای خشک کردن، مدل سازی 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 براساس پارامترهایی مانند تغییرات وزن بیان می‌کنند (Gitiban and Asefi, 2019). از روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک می‌توان برای غلبه بر محدودیت‌های ذاتی شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرد. مدل سازی فرآیند خشک کردن گیلاس 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 دو ورودی (زمان خشک کردن و زمان تیماردهی با فراصوت) و یک خروجی (درصد کاهش وزن) در نظر گرفته شد. از نرم افزار نروسولوشن^۱ (نسخه ۵) جهت مدل سازی استفاده شد. در این نرم افزار با تغییر نوع تابع فعال سازی (خطی، سیگموئیدی^۲ و تانژانت هیپربولیک^۳)؛ تعداد داده‌های استفاده شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لونبرگ – مارکوارت^۴، بهترین ساختار^۵ شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد. به منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده شده پیش‌بینی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی^۶ استفاده گردید (Satorabi et al., 2021).

یافته‌ها

– اثر فراصوت بر سرعت خشک شدن

در شکل ۱ اثر زمان تیماردهی با فراصوت بر زمان خشک شدن نمونه‌های گیلاس به نمایش در آمده است. تیماردهی با امواج فراصوت به مدت ۳ دقیقه باعث کاهش زمان خشک شدن نمونه‌ها شد ($p < 0.05$)؛ اما با افزایش زمان تیماردهی، احتمالاً به دلیل آسیب دیدن حفرات سطحی و لوله‌های مویینه موجود در سطح گیلاس، رطوبت به سستی از نمونه‌ها خارج شده و زمان خشک شدن طولانی‌تر شد. در شکل ۲ اثر زمان تیماردهی با فراصوت بر تغییرات وزن نمونه‌های گیلاس طی فرآیند خشک شدن به نمایش

¹ Neurosolution software (Excel software release 6.0),

³ Hyperbolic tangent function

⁶ Correlation coefficient (r)

Neuro Dimension, Inc., USA

⁴ Levenberg–Marquardt (LM)

² Sigmoid functions

⁵ Topology

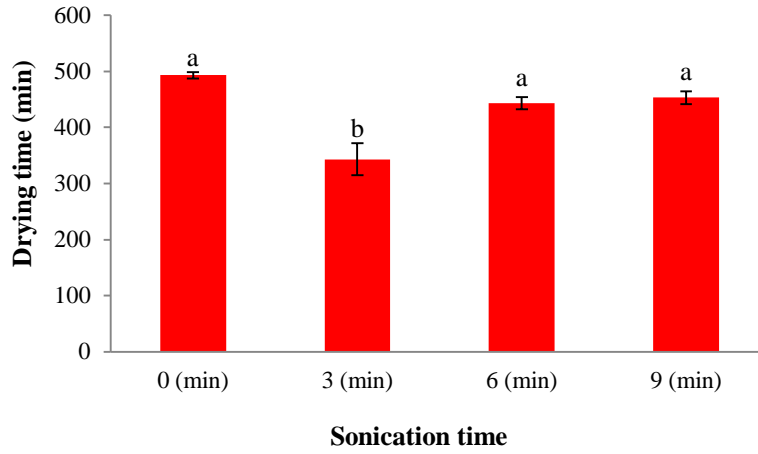


Figure 1- Effect of sonication time on the drying time of cherry
 شکل ۱- اثر زمان اعمال فراصوت بر زمان خشک شدن گیلاس

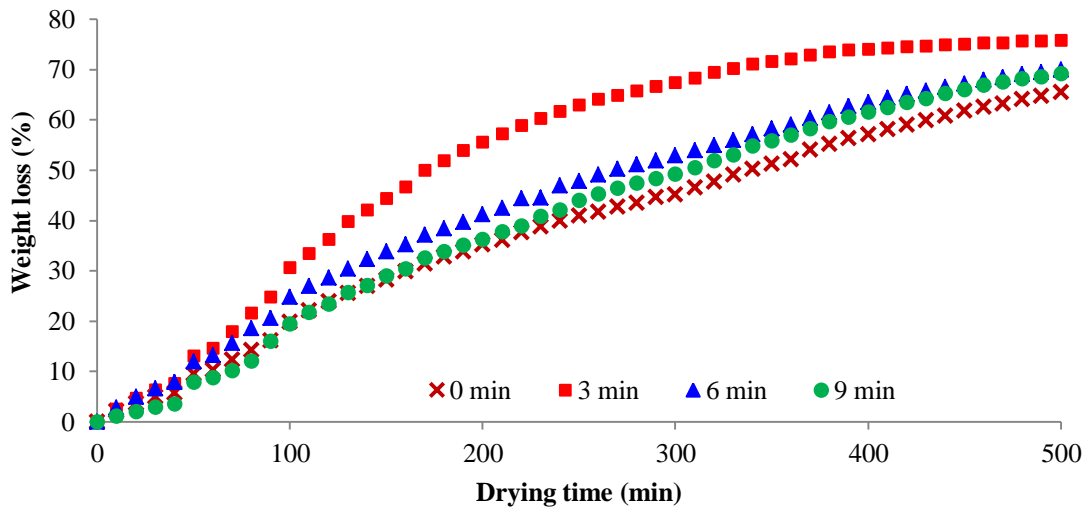


Figure 2- Effect of sonication time on the weight loss of cherry during drying time.
 شکل ۲- اثر زمان اعمال فراصوت بر افت وزن گیلاس طی زمان خشک شدن

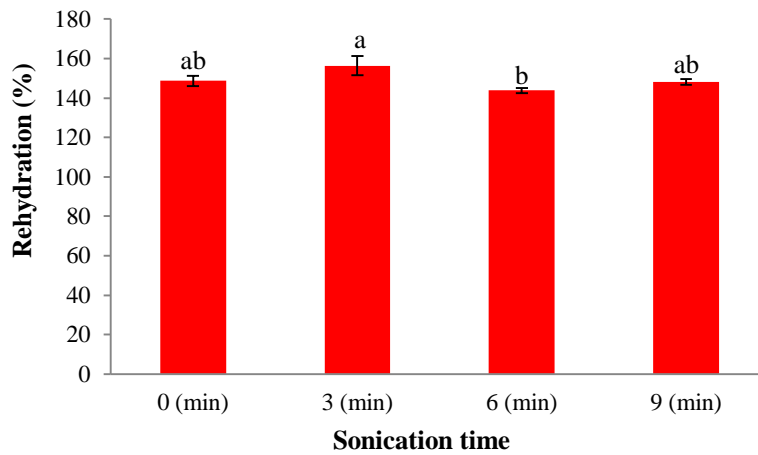


Figure 3- Effect of sonication time on the rehydration of dried cherry
 شکل ۳- اثر زمان اعمال فراصوت بر آبگیری مجدد گیلاس خشک شده

متناظر با هر نرون برای شبکه دارای ۴ نرون در لایه پنهان گزارش شده است.

آنالیز حساسیت عملی است که به ازای آن میزان و نحوه توزیع داده‌های ورودی با بیشترین تأثیر بر روی خروجی مدل مشخص شود. در واقع با تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی سبب کاهش مراحل سعی و خطا و شناخت مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر پدیده مورد نظر می‌گردد (Ghorbani *et al.*, 2013). به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت روی شبکه بهینه ایجاد شده توسط روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. همان‌طوری که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، به ترتیب زمان خشک کردن و زمان پیش تیمار با فراصوت به‌عنوان مؤثرترین عوامل در پیش‌بینی درصد کاهش وزن گیلاس طی فرآیند خشک کردن می‌باشند.

مقدار میانگین مربعات خطا^۱ 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 ۵ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد که نشان دهنده توانایی روش الگوریتم ژنتیک در بهینه کردن پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی است.

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی و پیش‌بینی شده برای درصد کاهش وزن گیلاس در طی فرآیند خشک کردن، توسط الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بهینه (۲/۴/۱) در شکل ۵ نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده کارایی بالای روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

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

جدول ۱- مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

Table 1- Optimal values of 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	4	30%	30%	40%

جدول ۲- مقادیر خطا در پیش‌بینی داده‌های ارزیابی توسط الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بهینه با ۴ نرون

Table 2- The error values in prediction of testing data by optimal genetic algorithm-artificial neural network with 4 neurons

Error	Weight loss (%)
Mean squared error	7.528
Normalized Mean squared error	0.015
Mean absolute error	1.855
Correlation coefficient (r)	0.993

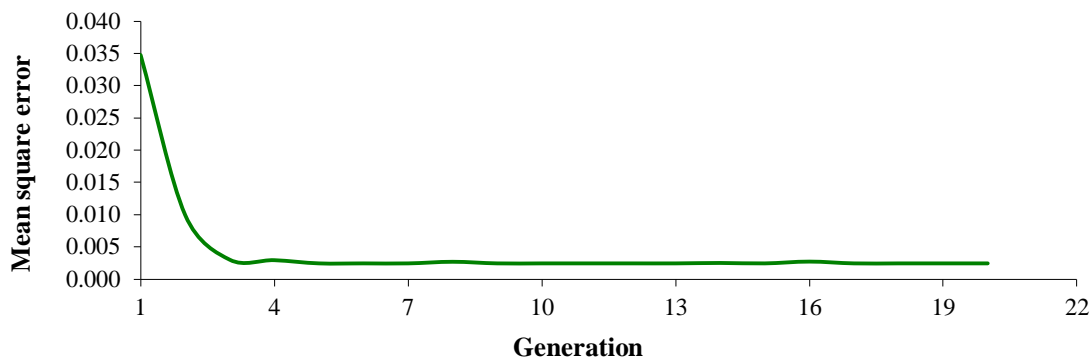


Figure 4- Mean square error versus generation during training by genetic algorithm-artificial neural network
شکل ۴- میانگین مربعات خطا در مقابل نسل‌های تشکیل شده هنگام آموزش با الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

¹ Mean Squared Error (MSE)

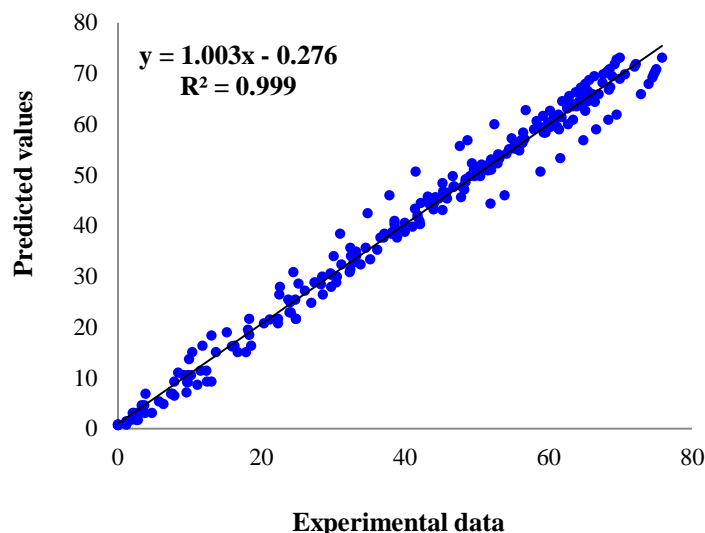


Figure 5- Experimental data vs predicted values for weight loss of cherry during drying process
 شکل ۵- داده‌های آزمایشگاهی در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای کاهش وزن گیلاس طی فرآیند خشک‌کردن

جدول ۳- مقادیر وزن و بایاس الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده

Table 3- The weight and bias values of optimized genetic algorithm-artificial neural network

Hidden neurons	Bias	Input neurons		Output neurons
		Drying time (min)	Sonication (min)	Weight loss (%)
1	2.5628	3.3290	0.0599	0.7030
2	-0.9360	-0.6096	-1.6328	-1.0955
3	1.1497	-0.5577	-0.7461	-1.7245
4	0.0554	-0.0792	1.0274	-1.6957
Bias				0.3645

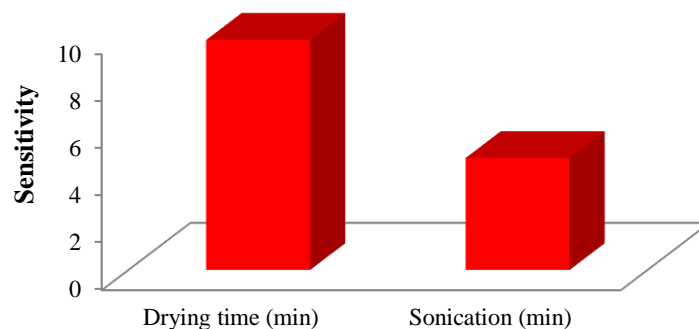


Figure 6- Sensitivity analysis results of cherry drying process
 شکل ۶- نتایج آزمون آنالیز حساسیت فرآیند خشک‌کردن گیلاس

کارایی فرآیند خشک‌کردن آسمزی برش‌های موز را بررسی کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، اعمال تیمار فراصوت موجب افزایش مقدار رطوبت خارج‌شده از برش‌های موز شد و در نتیجه کاهش زمان فرآیند خشک‌کردن را به همراه داشت. همراستا با نتایج این پژوهش، Kroehnke و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که استفاده از امواج فراصوت باعث کاهش زمان خشک‌کردن کیوی می‌شود.

بحث

استفاده از فراصوت در تیماردهی بافت‌های گیاهی می‌تواند منجر به بهبود سینتیک انتقال جرم می‌شود (Salehi, 2023). متوسط زمان خشک شدن گیلاس تیمار شده با فراصوت به مدت صفر، ۳، ۶ و ۹ دقیقه به ترتیب ۴۹۳، ۳۴۳، ۴۴۳ و ۴۵۳ دقیقه بود. در پژوهشی Salehi و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر توان و زمان اعمال فراصوت بر

همچنین Ghorbani و Esmaili (۲۰۲۲) نیز گزارش کردند که پیش تیمار فراصوت با پراکنده کردن ترکیبات مومی از سطح پوست زغال اخته و ایجاد کانال‌های میکروسکوپی، سبب سهولت انتقال جرم و کاهش زمان خشک کردن این میوه با هوای داغ می‌گردد. Shahidi و Maleki Aysak (۲۰۱۷) تأثیر فراصوت بر آبیگری اسمزی از برش‌های شلغم را بررسی و بهترین شرایط خشک کردن این محصول با هوای داغ را تعیین کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش زمان تیماردهی با فراصوت بر فرآیند خشک شدن برش‌های شلغم تأثیر معنی‌داری دارد که این افزایش به دلیل ایجاد کانال‌های میکروسکوپی در ساختار شلغم بوده است. در پژوهشی Amin Ekhlās و همکاران (۲۰۲۳) اثر امواج فراصوت بر سینتیک افت رطوبت و آبیگری مجدد گندم جوانه زده را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار فراصوت تا ۵ دقیقه، سبب افزایش سرعت خروج رطوبت از جوانه‌ها، افزایش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت و در نتیجه باعث کاهش زمان خشک کردن جوانه‌های گندم شده است؛ اما با افزایش زمان تیماردهی با فراصوت به ۱۰ و ۱۵ دقیقه، به دلیل آسیب دیدن حفرات سطحی و لوله‌های مویینه موجود در جوانه‌ها، رطوبت به‌سختی از نمونه‌ها خارج شده و زمان خشک کردن طولانی‌تر شده است.

آبیگری مجدد یکی از خواص مهمی است که برای اندازه‌گیری کیفیت مواد غذایی خشک استفاده می‌شود. همچنین می‌تواند به‌عنوان معیاری برای آسیب ناشی از خشک کردن یا تیمار قبل از خشک شدن در نظر گرفته شود. آبیگری مجدد آهسته یا ضعیف به دلیل فروپاشی داخلی بافت می‌باشد (Al-Khuseibi *et al.*, 2005). با افزایش زمان تیماردهی به ۶ و ۹ دقیقه، به دلیل آسیب دیدن حفرات سطحی و لوله‌های مویینه موجود در سطح گیلان، آب کمتری توسط نمونه‌ها جذب شد و مقدار آبیگری مجدد کاهش یافت. متوسط آبیگری مجدد گیلان خشک شده پیش تیمار شده با فراصوت به مدت صفر، ۳، ۶ و ۹ دقیقه به ترتیب ۱۴۸/۶۵، ۱۵۶/۳۹، ۱۴۳/۷۶ و ۱۴۸/۱۹ درصد بود. Doymaz و İsmail (۲۰۱۱) گزارش کردند که ظرفیت آبیگری مجدد گیلان خشک شده در دمای ۷۰ درجه سلسیوس از سایر دماها بیشتر است. همراستا با نتایج این پژوهش، Amin Ekhlās و همکاران

(۲۰۲۳) گزارش کردند که با افزایش زمان اعمال فراصوت تا ۵ دقیقه، آبیگری مجدد جوانه‌های گندم خشک شده، افزایش یافته است؛ اما با افزایش زمان تیماردهی با فراصوت به ۱۰ و ۱۵ دقیقه، به دلیل آسیب دیدن حفرات سطحی و لوله‌های مویینه موجود در جوانه‌ها، آب به‌سختی وارد نمونه‌های خشک شده گردیده و آبیگری مجدد این نمونه‌ها کمتر شده است.

ساختار مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های تجربی جمع آوری شده شکل گرفته است، لذا می‌تواند داده‌ها را با دقت بالا نمایش و پیش‌بینی کند (Onwude *et al.*, 2016). در این مطالعه به‌منظور پیش‌بینی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن گیلان از مدل سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. زمان خشک کردن و زمان پیش تیمار فراصوت به‌عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و درصد کاهش وزن در طی خشک کردن نیز به‌عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با ساختار (۱-۴-۲) با تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک با ضریب همبستگی بالا و مقدار خطا پایین در مقایسه با سایر ساختارهای شبکه، نتایج بهتری را برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن گیلان هنگام خشک کردن ارائه می‌کند. Satorabi و همکاران (۲۰۲۱) اثر پوشش دهی بر زمان خشک شدن برش‌های زردآلو را بررسی کردند. این پژوهشگران از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای مدل سازی 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 خشک کردن این نوع محصولات را پیشنهاد کرده‌اند. Yusefi و همکاران (۲۰۱۹) مدل سازی فرآیند خشک کردن "به" با روش الگوریتم ژنتیک - شبکه‌های عصبی مصنوعی با ۳ ورودی و یک خروجی را انجام دادند. نتایج این مدل سازی نشان داد که شبکه‌ای با تعداد ۷ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع انتقال تانژانت هیپربولیک می‌تواند درصد رطوبت در طی فرآیند خشک کردن را با دقت بالایی پیش‌بینی کند. Fadaie و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی و شبکه‌ای با تعداد ۱۵ نرون در یک لایه

20(135), 159-168.
<https://doi.org/10.22034/fsct.19.135.159>.

Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D. & Youssef, M.M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48(2), 410-427.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>.

Cheng, D., Ma, Q., Zhang, J., Jiang, K., Cai, S., Wang, W., Wang, J. & Sun, J. (2022). Cactus polysaccharides enhance preservative effects of ultrasound treatment on fresh-cut potatoes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90, 106205.

<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106205>.

Doymaz, İ. & İsmail, O. (2011). Drying characteristics of sweet cherry. *Food and Bioproducts Processing*, 89(1), 31-38.
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.03.006>.

Fadaie, M., Hosseini Ghaboos, S.H. & Beheshti, B. (2020a). Characterization of dried persimmon using infrared dryer and process modeling using genetic algorithm-artificial neural network method. *Journal of Food Science and Technology*, 17(100), 189-200.
<https://doi.org/10.52547/fsct.17.100.189>.

Fadaie, M., Hosseini Ghaboos, S.H. & Beheshti, B. (2020b). Characterization of dried persimmon using infrared dryer and process modeling using genetic algorithm-artificial neural network method. *Journal of Food Science and Technology*, 17(100), 189-199.
<https://doi.org/10.29252/fsct.17.03.15>.

Ghorbani, M., Naghipour, L., Karimi, V. & Farhoudi, R. (2013). Sensitivity analysis of the effective input parameters upon the ozone concentration using artificial neural networks. *Iranian Journal of Health and Environment*, 6(1), 11-22.

Ghorbani, R. & Esmaili, M. (2022). Investigation of the effect of ultrasound pretreatment on shrinkage of cornelian cherry during hot air drying. *Journal of Food Science and Technology*, 19(123), 15-26.
<https://doi.org/10.52547/fsct.19.123.15>.

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(4), 465-475.
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.v15i4.76323>.

پنهان و با استفاده از تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک و درصد داده‌های مورد استفاده برای آموزش/آزمون/ارزیابی برابر ۶۰/۲۰/۲۰ می‌توان به خوبی سینتیک خشک کردن خرما را پیش‌بینی نمود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر زمان تیماردهی با فراصوت بر تغییرات وزن و خروج رطوبت گیلاس طی فرآیند خشک کردن مورد بررسی قرار گرفت. پیش‌تیمار فراصوت به مدت ۳ دقیقه باعث کاهش زمان خشک شدن گیلاس و همچنین افزایش آبیگری مجدد محصول خشک شده گردید. با افزایش زمان تیماردهی به ۶ و ۹ دقیقه، به دلیل آسیب دیدن حفرات سطحی و لوله‌های مویینه موجود در سطح گیلاس، سرعت خشک شدن کاهش و در مرحله آبیگری مجدد هم مقدار آب کمتری توسط نمونه‌ها جذب شد. مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی درصد کاهش وزن به‌عنوان تابعی از زمان خشک کردن و زمان پیش‌تیمار فراصوت طی خشک کردن گیلاس استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد که ترکیب شبکه‌های عصبی مصنوعی با الگوریتم ژنتیک به‌منظور انتخاب متغیرهای بهینه، قدرت پیش‌بینی را به‌طور محسوسه افزایش می‌دهد. روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن گیلاس هنگام خشک کردن مناسب بود و از این روش می‌توان برای پیش‌بینی پارامترهای فرآیند خشک کردن گیلاس استفاده نمود. نتایج آنالیز حساسیت نیز حاکی از آن بود که زمان خشک کردن به‌عنوان مؤثرترین پارامتر در تعیین درصد کاهش وزن گیلاس طی فرآیند خشک کردن است.

منابع

Al-Khuseibi, M. K., Sablani, S. S. & Perera, C.O. (2005). Comparison of water blanching and high hydrostatic pressure effects on drying kinetics and quality of potato. *Drying Technology*, 23(12), 2449-2461.
<https://doi.org/10.1080/07373930500340734>.

Amin Ekhlas, S., Pajohi-Alamoti, M.R. & Salehi, F. (2023). Effect of ultrasonic waves and drying method on the moisture loss kinetics and rehydration of sprouted wheat. *Journal of Food Science and Technology*,

- Hosseini, Z. (2006). *Common Methods in Food Analysis*. Shiraz University Pub.
- Hu, T., Subbiah, V., Wu, H., Bk, A., Rauf, A., Alhumaydhi, F.A. & Suleria, H.A.R. (2021). Determination and characterization of phenolic compounds from australia-grown sweet cherries (*Prunus avium* L.) and their potential antioxidant properties. *ACS Omega* 6(50), 34687-34699. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05112>.
- Karami, H., Nejat Lorestani, A. & Tahvilian, R. (2021). The effect of different drying methods on drying kinetics, mathematical modeling, quantity and quality of thyme essential oil. *Journal of Food Science and Technology*, 18(113), 135-146. <https://doi.org/10.52547/fsct.18.113.135>.
- Kroehnke, J., Szadzińska, J., Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., Musielak, G. & Mierzwa, D. (2021). Osmotic dehydration and convective drying of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) – The influence of ultrasound on process kinetics and product quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 71, 105377. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105377>
- Onwude, D.I., Hashim, N., Janius, R.B., Nawi, N. & Abdan, K. (2016). Modelling the convective drying process of pumpkin (*Cucurbita moschata*) using an artificial neural network. *International Food Research Journal* 23, S237.
- Salehi, F. (2020a). Physico-chemical properties of fruit and vegetable juices as affected by ultrasound: A review. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1748-1765. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1825486>.
- Salehi, F. (2020b). 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. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1653810>.
- 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. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1911746>.
- Salehi, F. (2023). Recent advances in the ultrasound-assisted osmotic dehydration of agricultural products: A review. *Food Bioscience*, 51, 102307. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102307>.
- Salehi, F., Cheraghi, R. & Rasouli, M. (2022). Influence of sonication power and time on the osmotic dehydration process efficiency of banana slices. *Journal of Food Science and Technology*, 19(124), 197-206. <https://doi.org/10.52547/fsct.19.124.197>.
- 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(1), 468-480. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1898520>.
- Shahidi, F. & Maleki Aysak, M. (2017). Studying the influence of ultrasound treatment on osmosis dehydration of turnip and optimization of hot-air drying conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 14(68), 203-2014.
- Vursavuş, K., Kelebek, H. & Selli, S. (2006). A study on some chemical and physico-mechanic properties of three sweet cherry varieties (*Prunus avium* L.) in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 74(4), 568-575. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.059>
- Xu, B., Sylvain Tiliwa, E., Wei, B., Wang, B., Hu, Y., Zhang, L., Mujumdar, A.S., Zhou, C. & Ma, H. (2022). Multi-frequency power ultrasound as a novel approach improves intermediate-wave infrared drying process and quality attributes of pineapple slices. *Ultrasonics Sonochemistry*, 88, 106083. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106083>
- Yusefi, A., Dilmaghanian, S., Ziaforoughi, A. & Moezzi, M. (2019). Study on infrared drying kinetics of quince slices and modelling of drying process using genetic algorithm-artificial neural networks (GA-ANNs). *Innovative Food Technologies*, 6(2), 175-186. <https://doi.org/10.22104/jift.2018.2871.1694>.

Investigating the Effect of Ultrasonic Pretreatment on Drying Rate of Cherry and Process Modeling Using Genetic Algorithm-Artificial Neural Network Method

F. Salehi^{a*}, M. Inanloodoghuz^b, S. Ghazvineh^c

^a Associate Professor of the Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

^b MSc Student of the Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

^c BSc Student of the Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: 18 June 2023

Accepted: 15 July 2023

Abstract

Introduction: Due to their high moisture content, cherries have a very high rate of spoilage and require the use of some post-harvest treatments in order to be effectively preserved. Drying is one of these preservation methods. Drying time can be shortened by using ultrasonic waves as a pretreatment before drying agricultural products. The genetic algorithm-artificial neural network method has a high ability to find the optimal value of a complex objective function.

Materials and Methods: In this study, the effect of sonication treatment for 0, 3, 6, and 9 minutes on drying time, weight changes, and rehydration of cherries was investigated. In the next step, this process was modeled by genetic algorithm-artificial neural network method with 2 inputs (drying time and ultrasonic pretreatment time) and 1 output (weight loss percentage).

Results: The results of this research showed that sonication for up to 3 min increased the rate of moisture removal from cherries and thus reduced drying time. 3-min treatment with ultrasound increased the rehydration of dried cherries; but as the treatment time increased to 6 min and 9 min, the amount of rehydration decreased. Genetic algorithm-artificial neural network modeling results showed that a network with a 1-4-2 structure in one hidden layer and using the hyperbolic tangent activation function can predict the weight loss percentage of cherries during drying with a high correlation coefficient and a low error value. According to the results of sensitivity analysis test, drying time was the most effective factor in changing the weight loss percentage of cherries during the drying process.

Conclusion: In general, the best conditions for drying cherries are pretreatment with ultrasound for 3 minutes followed by drying the product with hot-air. Based on the modeling results, the genetic algorithm-artificial neural network method can also be used to predict the parameters of the cherry drying process.

Keywords: *Activation Function, Cherry, Rehydration, Sensitivity Analysis, Ultrasound.*

* Corresponding Author: F.Salehi@Basu.ac.ir