

## مقاله پژوهشی

## مدل‌سازی خشک‌کردن توت سیاه با سامانه مادون‌قرمز به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

علیرضا اسدی امیرآبادی<sup>۱\*</sup>، مهدی شوندی<sup>۲</sup>، مهدی کاشانی‌نژاد<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. استاد، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۲۷، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۵/۱۶، تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۲۵)

## چکیده

شاه توت سرشار از پلی فنل‌ها و آنتوسیانین‌ها است که خشک‌کردن و نگهداری آن می‌تواند ارزشمند باشد. استفاده از تابش مادون قرمز به‌عنوان یک روش مناسب در خشک‌کردن می‌تواند باعث کاهش زمان خشک‌کردن و کاهش هزینه‌های فرایند می‌شود. اثر توان‌های ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ لامپ مادون قرمز، فاصله‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ نمونه از لامپ و زمان خشک‌کردن بر خشک‌شدن توت سیاه مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌سازی خشک‌شدن توت سیاه به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی با چهار ورودی توان، فاصله لامپ و زمان خشک‌کردن یک خروجی درصد کاهش رطوبت انجام شد. مشخص شد که با افزایش توان لامپ و کاهش فاصله نمونه‌ها از لامپ مادون قرمز، سرعت خشک‌کردن توت سیاه به روش مادون قرمز دو طرفه به‌طور معنی داری ( $P < 0.05$ ) افزایش می‌یابد. تابع فعال‌سازی سیگموئیدی به علت مقدار خطای کم‌تر نسبت به سایر توابع، به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید. برای رسیدن به بهترین شرایط یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها توسط شبکه، بر اساس انجام روش آزمون و خطا از ۱۵ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد داده‌ها برای آزمون شبکه آموزش دیده و ۶۰ درصد باقی مانده داده‌ها برای ارزیابی شبکه استفاده گردید. طبق نتایج به‌دست آمده مشخص شد با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی و شبکه‌ای با تعداد ۸ نرون در یک لایه پنهان می‌توان به خوبی مدل‌سازی درصد کاهش رطوبت را به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی در طی فرایند خشک‌کردن توت سیاه به روش مادون قرمز دو طرفه پیشگویی کرد ( $R^2 = 0.999$ ,  $Mse = 0.00002$ ). زمان خشک‌کردن به‌عنوان مؤثرترین عامل برای کنترل کاهش رطوبت توت سیاه با استفاده از آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کردن، شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک، توت سیاه، پیشگویی، مادون قرمز دو طرفه.



استفاده قرار گیرد [۱۵].

## ۲.۲. طرح کلی آزمایش‌ها

آزمایشات خشک‌کردن توت سیاه در سه سطح توان ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ W و سه سطح فاصله نمونه‌ها از منبع تابشی ۵، ۱۰ و ۱۵ cm با استفاده از یک دستگاه خشک‌کن IR با سیستم تابش دو طرفه انجام شد. شکل (۱) سیستم طراحی شده مادون قرمز به منظور خشک‌کردن توت‌های سیاه را نشان می‌دهد. حدود نیم ساعت قبل از شروع فرایند خشک‌کردن، لامپ‌های IR رشته‌ای متناسب با توان مورد نیاز تنظیم شد تا دمای سطح لامپ به حالت پایدار برسد. نمونه‌ها بر روی توری که از طریق پایه‌هایی بر روی ترازو (با دقت  $\pm 0.5$  gr) سوار بود؛ قرار داده شد. کاهش وزن نمونه‌ها در فواصل زمانی ۳ s به صورت آنلاین با اتصال کابل RS232 به کامپیوتر و با استفاده از برنامه lutron 801 ساخت شرکت Lutron تایوان ثبت می‌شد. خشک‌کردن نمونه‌ها تا رسیدن به محتوی رطوبتی ۱۰ درصد انجام شد. آزمایش‌های خشک‌کردن به روش فاکتوریل در ۹ تیمار و ۲ تکرار یعنی ۱۸ آزمایش، انجام گرفت. اندازه‌گیری محتوای رطوبت نمونه‌های توت سیاه بر اساس استاندارد (AOAC 1990) انجام شد؛ به طوری که مقداری نمونه قبل و پس از انجام هر آزمایش خشک‌کردن، در آون با دما  $105 \pm 1$  °C قرار داده شد و پس از رسیدن وزن نمونه‌ها به مقدار ثابت، مقدار رطوبت بر حسب گرم آب/گرم ماده خشک محاسبه شد.

## ۳.۲. مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی

مدل‌سازی فرایند خشک‌کردن توت سیاه به روش مادون قرمز دو طرفه جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیشخور انجام پذیرفت. نرون‌ها در این نوع شبکه در سه لایه ورودی، پنهان و خروجی دسته بندی می‌شوند. خروجی نرون‌های لایه پنهان و خروجی (y) از طریق افزایش بایاس به مجموع ورودی‌های وزن دار شده با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد [۱۵]:

$$y = \sum_{i=1}^P f(W_{ij}X_i + b_j) \quad (1)$$

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

در این پژوهش سه ورودی (توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و

مطالعه‌ای به منظور بررسی خشک‌کردن توت سفید با استفاده از جریان هوای گرم مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از شبکه عصبی چند لایه برای مدل‌سازی کاهش رطوبت در توت سفید استفاده شد. بنابر گزارشات مشخص شد 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 ۰/۰۰۰۰۲ در مقایسه با سایر ساختارهای شبکه، نتایج مطلوب‌تری داشت [۱۶]. هم‌چنین از روش‌های الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی به منظور مدل‌سازی فرایند خشک‌کردن برش‌های هویج استفاده شد، محققان در نتایج به دست آمده این روش را جهت مدل‌سازی فرایندهای خشک‌کردن مواد غذایی را یک روش قدرتمند معرفی کردند [۱۷]. در پژوهشی مدل‌سازی انتقال جرم در فرایند آبیگری اسمزی پوست لیموی آفریقایی توسط شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. ورودی‌ها (دما، زمان غوطه وری در محلول اسمزی و غلظت مواد جامد) و خروجی‌های (میزان دفع آب و جذب مواد جامد) این پژوهش توسط شبکه عصبی چند لایه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که بهترین پیش‌بینی به وسیله شبکه‌ای با یک لایه مخفی، پنج نرون و روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکواریت به دست می‌آید [۱۸].

هدف از انجام این تحقیق، پیش‌بینی سنتتیک خشک‌کردن توت سیاه به روش مادون قرمز دو طرفه و بهینه‌سازی انرژی لازم جهت خشک‌کردن آن می‌باشد. هم‌چنین مدل‌سازی فرایند انتقال جرم با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی انجام و ویژگی‌های ساختار شبکه عصبی بهینه گزارش می‌شود.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. تهیه نمونه

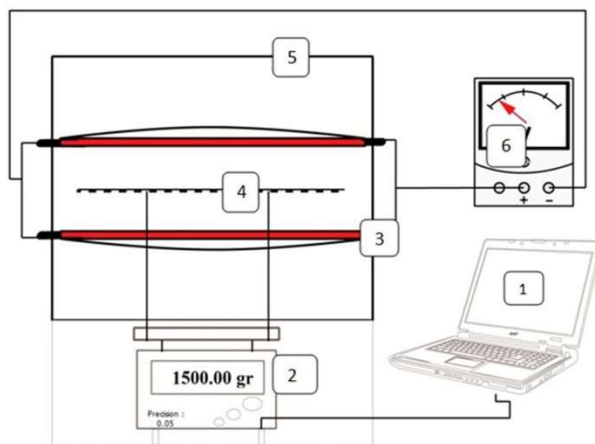
توت سیاه از وارسته *Morus nigra* تازه برداشت شده از بازار محلی در شهر گرگان خریداری شده و بلافاصله بعد از خریداری توت سیاه، نمونه‌های معیوب جدا شده و نمونه‌هایی با طول یکنواخت ( $3 \pm 0.3$  cm) انتخاب شدند. برای جلوگیری از ایجاد شرایط نامطلوب، نمونه قبل از شروع آزمایشات حداکثر ۲۴ h در یخچال ( $7$  °C) نگهداری شد. [۱۰].

$$\tanh = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (۳)$$

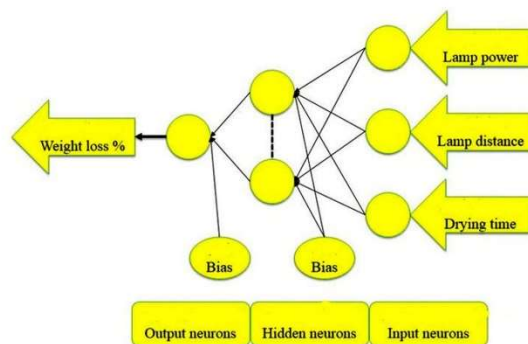
در این پژوهش از نرم افزار نروسولوشن ورژن ۶ ساخت شرکت Neuro Dimension به منظور مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی خشک کردن توت سیاه استفاده گردید. با استفاده از نرم افزار ذکر شده با تغییر نوع تابع فعال‌سازی، تعداد داده‌های استفاده شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لونیبرگ-مارکوارت، بهترین ساختار جهت دست‌یابی به شبکه بهینه بررسی شد. جهت ارزیابی شبکه عصبی مورد بررسی و پیشگویی پارامترها از شاخص ضریب همبستگی و میانگین مربع خطاها استفاده گردید [۱۹]. نتایج این آزمایش به صورت فاکتوریل تجزیه و تحلیل گردید اما میانگین‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی به کمک نرم افزار SPSS version 22 در سطح احتمال ۵٪ مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مدت زمان خشک کردن) و یک خروجی (درصد کاهش رطوبت) به منظور خشک کردن توت سیاه در نظر گرفته شد (شکل ۲). برای مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها در لایه پنهان (تعداد نرون‌های لایه پنهان به نوع کاربرد و شرایط تعیین پارامترهای شبکه وابسته است) که حداقل زمان صرف شده و حداقل خطا را در برداشت استفاده شد. جمعیت اولیه برای تولید نسل‌ها ۱۰۰ و حداکثر تعداد نسل‌ها نیز ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. از توابع فعال‌سازی خطی، سیگموئیدی (رابطه ۲) و تانژانت هیپربولیک (رابطه ۳) که متداول‌ترین نوع توابع فعال‌سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید. در این پژوهش به منظور یادگیری شبکه، روش بهینه‌سازی لونیبرگ-مارکوت که یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های یادگیری است استفاده شد [۱۴، ۱۹].

$$\text{sig} = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (۲)$$



شکل (۱) دستگاه خشک‌کن دو طرفه مادون قرمز: ۱. کامپیوتر، ۲. ترازو، ۳. لامپ‌های مادون قرمز، ۴. محل قرار دادن نمونه، ۵. محفظه خشک‌کن، ۶. واریابل  
**Fig. 1.** Two-way infrared dryer: 1. Computer, 2. Scales, 3. infrared lamps, 4. sample placement, 5. dryer chamber, 6. varibal



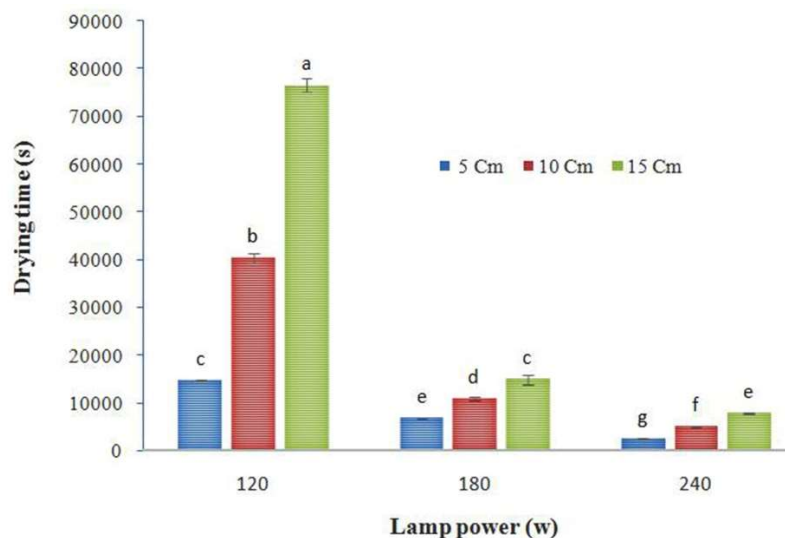
شکل (۲) ساختار شماتیک ورودی و خروجی‌های شبکه عصبی مصنوعی سه لایه (۳/n/۱)  
**Fig. 2.** Three-layer artificial neural network inputs and output structure (4/n/1)

## ۳. نتایج و بحث

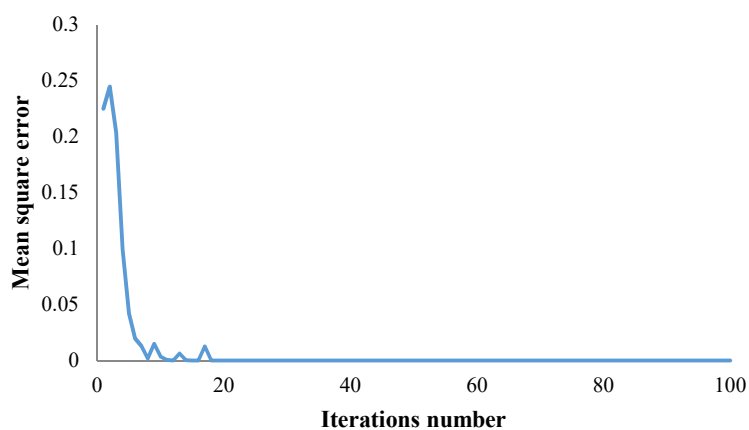
## ۱.۳. خشک کردن

جهت بررسی اثر توان لامپ مادون قرمز بر زمان خشک شدن توت سیاه، لامپ‌های مادون قرمز با مجموع توان‌های ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰w استفاده گردید. نتایج نشان داد که تغییر توان لامپ اثر معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بر زمان خشک شدن توت سیاه دارد و با افزایش توان مصرفی، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. مطابق شکل (۳) در یک فاصله ثابت از نمونه‌ها با افزایش توان مصرفی

لامپ‌ها از ۱۲۰ به ۲۴۰w، برای رسیدن میزان رطوبت به ۱۰٪ زمان خشک شدن توت سیاه از ۴۵/۰۸ به ۴/۶ ساعت کاهش یافت (فاصله ۱۰cm). استفاده از توان‌های مختلف لامپ مادون قرمز بر روی زمان خشک شدن توت سیاه معنی‌دار است. به وضوح میزان طولانی شدن زمان خشک شدن در توان‌های کم‌تر نسبت به توان بیش‌تر قابل مشاهده است که نتایج مشابه توسط مطالعه سایر پژوهش‌گران بر روی توت‌های مختلف مشاهده گردید [۱۰، ۲۲].



شکل (۳) تأثیر توان مصرفی لامپ مادون قرمز در زمان خشک کردن توت سیاه توسط سامانه مادون قرمز تا درصد رطوبت ثابت (فاصله ۱۰w و توان مصرفی ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰w)



شکل (۴) تأثیر فاصله لامپ مادون قرمز در خشک کردن توت سیاه توسط سامانه مادون قرمز بر درصد کاهش رطوبت (فاصله ۵، ۱۰ و ۱۵ cm و توان ۱۸۰w)

Fig. 4. The effect of infrared lamp distance on blackberry drying in infrared system on moisture loss percentage (distances 5, 10 and 15 cm and power 180 W)



به‌طور کلی شبکه عصبی مصنوعی به منظور به‌دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه، مورد فرایند آموزش قرار می‌گیرد و مقادیر وزن و بایاس متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای ۸ نرون در لایه پنهان در جدول (۱) نشان داده شده است. مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۷۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیشگویی شده درصد کاهش وزن توسط شبکه عصبی بهینه (۳/۸/۱) با ضریب همبستگی  $R^2=0/999$  در شکل (۶) نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی است.

نتایج مختلفی در همین زمینه توسط شبکه عصبی مصنوعی گزارش شده است که به‌طور مثال در مدل‌سازی انتقال جرم آبیگری اسمزی پوست لیموی آفریقایی، شبکه عصبی چند لایه مورد استفاده قرار گرفت و نتایج نشان داد که بهترین شبکه با یک لایه مخفی، پنج نرون و روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت به‌دست می‌آید [۱۸]. هم‌چنین در مطالعه مشابهی برای پیشگویی انتقال جرم در زردآلو آبیگری شده از شبکه عصبی چند لایه پرسپترون استفاده شد که نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۱۴ نرون در یک لایه پنهان به خوبی درصد کاهش پارامترهای خروجی را پیشگویی می‌نماید [۱۵]. در مطالعه‌ای به منظور بررسی خشک‌کردن توت سفید با استفاده از جریان هوای گرم از شبکه عصبی چند لایه برای مدل‌سازی کاهش رطوبت در توت سفید استفاده شد که گزارش شد شبکه عصبی با ساختار (۳-۸-۳) با توابع آستانه لگاریتمی و تانژانت سیگموئید با ضریب تعیین (۰/۹۹۹۸) و مقدار میانگین مربعات خطا (۰/۰۰۰۰۲) به خوبی می‌تواند فرایند را پیشگویی کند [۱۶].

آزمون آنالیز حساسیت بر روی شبکه بهینه به‌دست آمده، برای شناسایی تأثیرگذارترین عامل و مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی در این پژوهش انجام شد. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل (۷) زمان خشک‌کردن در میان سایر متغیرهای ورودی، به‌عنوان مؤثرترین عامل در پیشگویی درصد کاهش وزن طی خشک‌کردن توت سیاه به روش مادون قرمز دو طرفه است.

جهت بررسی اثر فاصله لامپ مادون قرمز از سطح نمونه‌ها بر زمان خشک‌شدن تابش دهی از دو جهت در فاصله‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ cm از سطح نمونه‌ها انجام شد. مطابق شکل (۴) با کاهش فاصله لامپ مادون قرمز از سطح نمونه‌ها زمان خشک‌شدن نمونه‌های توت سیاه تا رطوبت ثابت ۱۰ درصد به شکل معنی داری ( $P<0/05$ ) کاهش یافت. برای خشک‌کردن توت سیاه با افزایش فاصله لامپ با توان مصرفی ۱۸۰w از ۱۵ به ۵cm، برای رسیدن میزان رطوبت به ۱۰٪ زمان خشک‌شدن توت سیاه از ۱۷/۰۸ به ۶/۶ h کاهش یافت (توان ۲۴۰w). نتایج مشابهی مبنی بر کاهش زمان خشک‌شدن با کاهش میزان فاصله نمونه از منبع تابش توسط سایر محققان بر روی میوه‌ها و سبزی‌ها گزارش شده اند [۲۰، ۲۱].

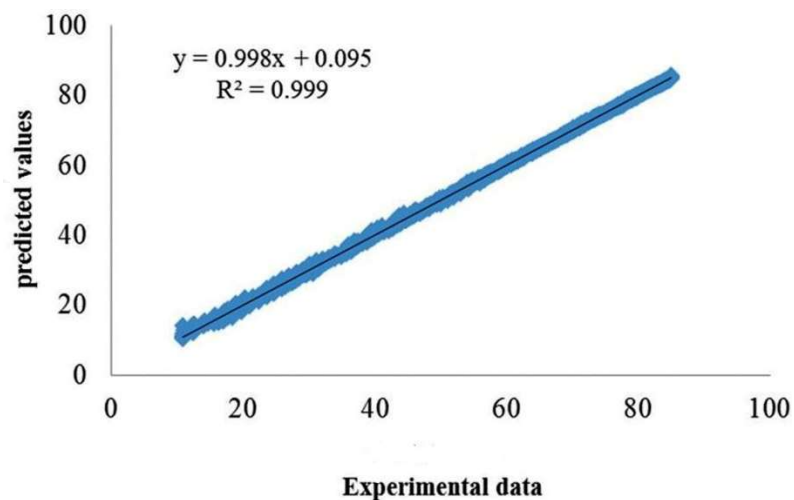
### ۲.۳. نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی

به منظور پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک‌کردن توت سیاه به روش مادون قرمز دو طرفه از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و مدت زمان خشک‌کردن به‌عنوان ورودی‌های شبکه و درصد کاهش رطوبت به‌عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. تابع فعال‌سازی سیگموئیدی، به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی به علت مقدار خطای کم‌تر این تابع، انتخاب گردید. ۱۵٪ داده‌ها برای آموزش استفاده شدند که در این مقدار شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها است و با استفاده از روش آزمون و خطا این مقدار به‌دست آمد. ۱۵٪ داده‌ها نیز برای آزمون شبکه آموزش دیده و ۷۰٪ باقی مانده داده‌ها به منظور ارزیابی شبکه استفاده گردیدند. براساس نتایج این پژوهش شبکه عصبی مصنوعی دارای ۸ نرون در لایه پنهان می‌تواند به خوبی درصد کاهش رطوبت ( $R^2=0/999$ ) در طی خشک‌کردن به روش مادون قرمز دو طرفه را پیشگویی نماید. مقدار میانگین مربعات خطا در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، در همان نسل‌های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل حدود ۲۰ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد.

جدول (۱) مقادیر وزن و بایاس متناظر با هر نرون در شبکه عصبی مصنوعی بهینه.

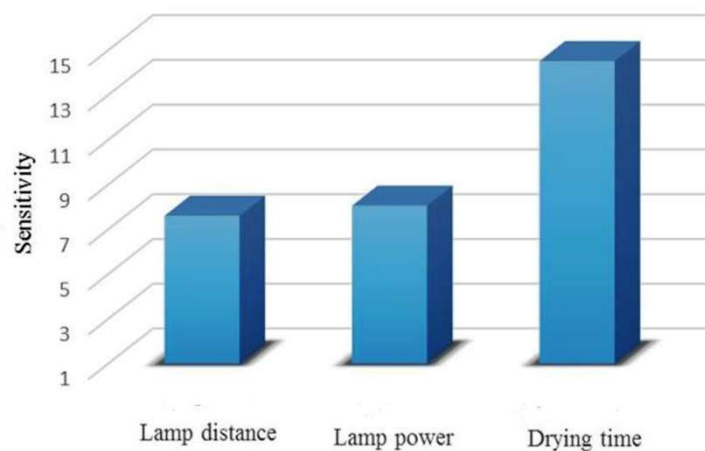
Table 1 The weights and bias values of optimized neural network.

نرون خروجی Output neurons		نرون‌های ورودی Input neurons		بایاس Bias	نرون لایه پنهان Hidden neurons
درصد کاهش وزن Weight loss %	زمان خشک کردن Drying time	فاصله لامپ Lamp distance	توان لامپ Lamp power		
0.4060	1.9146	-4.4445	-1.8600	-1.5111	1
0.6881	0.0222	0.8206	0.0001	-0.3711	2
-1.8142	-0.2289	1.3067	1.0957	1.3895	3
-3.9801	-2.7611	4.6777	1.3984	-1.2307	4
2.4792	-0.3699	-1.5526	0.4502	-1.6413	5
-1.0025	-1.4122	0.3048	0.6226	-0.8730	6
0.9335	1.3526	-4.7981	-2.3079	0.9132	7
-0.9857	-0.1578	0.0319	-0.9135	0.1029	8
0.7175					بایاس



شکل (۵) مقادیر تجربی داده های ارزیابی در برابر مقادیر پیشگویی شده درصد کاهش وزن طی خشک کردن توت سیاه به روش مادون قرمز

Fig. 5. Experimental data versus predicted values for weight loss during drying of blackberry using infrared method



شکل (۶) نتایج آنالیز حساسیت مدل‌سازی خشک کردن توت سیاه به روش مادون قرمز

Fig. 6. Sensitivity analysis of results from modeling the black mulberry drying by infrared method

## ۴. نتیجه گیری

شبکه عصبی مصنوعی جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به‌عنوان تابعی از توان لامپ مادون قرمز، فاصله نمونه از لامپ و زمان خشک کردن (ورودی‌های شبکه) در طی خشک کردن به روش مادون قرمز دو طرفه استفاده گردید. از روش الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی تعداد نرون‌ها در لایه مخفی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان داد شبکه دارای ۸ نرون در یک لایه پنهان و استفاده از تابع فعال سازی سیگموئیدی در لایه پنهان و خروجی به خوبی قادر به پیشگویی درصد کاهش وزن با ضریب همبستگی بالا ( $R^2=0/999$ ) می‌باشد. با توجه به نتایج آنالیز حساسیت، زمان خشک کردن به‌عنوان مؤثرترین پارامتر بر تغییر درصد کاهش وزن توت سیاه است.

خشک کردن یکی از روش‌هایی است که با کمک آن می‌توان ماندگاری توت سیاه را افزایش داد. در این تحقیق، تاثیر مدت زمان خشک کردن، توان‌های مختلف مادون قرمز و فواصل مختلف نمونه توت سیاه از لامپ مادون قرمز بر روی ویژگی‌های خشک کردن توت سیاه با استفاده از روش مادون قرمز دو طرفه، مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر ذکر شده بر مقدار خروج آب و کاهش رطوبت مؤثر بودند و با افزایش توان تابش مادون قرمز، کاهش فاصله نمونه از منبع تابش و افزایش مدت زمان فرایند، میزان درصد کاهش وزن و در نتیجه سرعت خشک شدن افزایش یافت. در این پژوهش، از مدل سازی الگوریتم ژنتیک-

## منابع

- [9] Lurie, S., Nussinovitch, A. (1996). Compression characteristics, firmness, and texture perception of heat treated and unheated apples. *J. Food Sci. Technol Res*, 31(1), 1-5.
- [10] Lin, Y. P., Lee, T. Y., Tsen, J. H., King, V. A. E. (2007). Dehydration of yam slices using FIR-assisted freeze drying. *J. Food Eng*, 79(4), 1295-1301.
- [11] Jun, S., Krishnamurthy, K., Irudayaraj, J., Demirci, A. (2010). Fundamentals and theory of infrared radiation. Pan, Z., and Atungulu, GG, eds., *Infrared heating for food and agricultural processing*: Boca Raton, Florida, CRC Press, 1-9.
- [12] Aidani, E., Hadadkhodaparast, M., Kashaninejad, M. (2017). Experimental and modeling investigation of mass transfer during combined infrared-vacuum drying of Hayward kiwifruits. *Food Sci. Nutr*, 5(3), 596-601.
- [13] Wu, J., Zhang, H., Li, F. (2017). A study on drying models and internal stresses of the rice kernel during infrared drying. *Drying Technol*, 35(6), 680-688.
- [14] Younis, M., Abdelkarim, D., El-Abdein, A. Z. (2018). Kinetics and mathematical modeling of infrared thin-layer drying of garlic slices. *Saudi J. Biol. Sci*, 25(2), 332-338.
- [15] Orikasa, T., Ono, N., Watanabe, T., Ando, Y., Shiina, T., Koide, S. (2018). Impact of blanching pretreatment on the drying rate and energy consumption during far-infrared drying of Paprika (*Capsicum annum* L.). *Food Quality Safety*, 2(2), 97-103.
- [16] Rad, S. J., Kaveh, M., Sharabiani, V. R., Taghinezhad, E. (2018). Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. *Heat Mass Transf*, 54(11), 3361-3374.
- [1] Ercisli, S., Orhan, E. (2008). Some physico-chemical characteristics of black mulberry (*Morus nigra* L.) genotypes from Northeast Anatolia region of Turkey. *Sci. Hortic*, 116(1), 41-46.
- [2] Suh, H. J., Noh, D. O., Kang, C. S., Kim, J. M., Lee, S. W. (2003). Thermal kinetics of color degradation of mulberry fruit extract. *Food - Nahrung*, 47(2), 132-135.
- [3] Lin, J. Y., Tang, C. Y. (2007). Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food chem*, 101(1), 140-147.
- [4] Hertog, M. G., Sweetnam, P. M., Fehily, A. M., Elwood, P. C., Kromhout, D. (1997). Antioxidant flavonols and ischemic heart disease in a Welsh population of men: the Caerphilly Study. *Am J Clin Nutr*, 65(5), 1489-1494.
- [5] Singhal, B. K., Khan, M. A., Dhar, A., Baqual, F. M., Bindroo, B. B. (2010). Approaches to industrial exploitation of mulberry (*Morus sp.*) fruits. *J. Fruit Ornam Plant Res*, 18, 83-99.
- [6] Arslan, O., Erzenin, M., Sinan, S., Ozensoy, O. (2004). Purification of mulberry (*Morus alba* L.) polyphenol oxidase by affinity chromatography and investigation of its kinetic and electrophoretic properties. *Food Chem*, 88(3), 479-484.
- [7] Fellows, P. J. (2009). *Food processing technology: principles and practice*. Elsevier.
- [8] Moreira, R., Figueiredo, A., Sereno, A. (2000). Shrinkage of apple disks during drying by warm air convection and freeze drying. *Drying Technol*, 18(1-2), 279-294.



- [17] Jafari, S. M., Ganje, M., Dehnad, D., Ghanbari, V. (2016). Mathematical, fuzzy logic and artificial neural network modeling techniques to predict drying kinetics of onion. *J. Food Process. Pres.*, 40(2), 329-339.
- [18] Bahmani, A., Jafari, S. M., Shahidi, S. A., Dehnad, D. (2016). Mass transfer kinetics of eggplant during osmotic dehydration by neural networks. *J. FOOD PROCESS PRES*, 40(5), 815-827.
- [19] Bahmani, A., Jafari, S. M., Shahidi, S. A., Dehnad, D. (2016). Mass transfer kinetics of eggplant during osmotic dehydration by neural networks. *J. Food Process Pres.*, 40(5), 815-827.
- [20] Bahramparvar, M., Salehi, F., Razavi, S. M. (2014). Predicting total acceptance of ice cream using artificial neural network. *J. Food Process Pres*, 38(3), 1080-1088.
- [21] Salehi, F., Abbasi Shahkoh, Z., Godarzi, M. (2014). Apricot Osmotic Drying Modeling Using Genetic Algorithm-Artificial Neural Network. *Innov Food Sci. Technol.*
- [۲۲] اصغری، م؛ ابراهیمی، رحیم؛ حسین زاده، ب؛ قنبریان، د. (۱۳۹۶). مدل‌سازی پارامترهای کیفی توت سفید در فرایند خشک‌شدن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. *مهندسی بیوسیستم/ایران*، دوره ۴۸، شماره ۱، ۹-۱۸.
- [23] Erenturk, S., Erenturk, K. (2007). Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *J. Food Eng*, 78(3), 905-912.
- [24] Lertworasirikul, S., & Saetan, S. (2010). Artificial neural network modeling of mass transfer during osmotic dehydration of kaffir lime peel. *J. Food Eng*, 98(2), 214-223.
- [25] Salehi, F., & Razavi, S. M. (2016). Modeling of waste brine nanofiltration process using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Desalination and Water Treatment*, 57(31), 14369-14378.
- [۲۶] اسدی امیر آبادی، ع؛ کاشانی نژاد، م؛ صالحی، ف. (۱۳۹۶). مدل سازی فرایند خشک کردن بادمجان توسط سامانه مادون قرمز به روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی. *نشریه فراوری و نگه‌داری مواد غذایی* دوره ۹، شماره ۱، ۸۵-۹۶.
- [۲۷] آیدانی، ع؛ خداپرست، ح؛ کاشانی نژاد، مهدی. (۲۰۱۷). بررسی خصوصیات کیوی خشک شده با سامانه مادون قرمز و مدل‌سازی فرآیند. *علوم غذایی و تغذیه*، دوره ۱۴، ۵۳-۶۶.
- [28] Puente-Díaz, L., Ah-Hen, K., Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Scala, K. D. (2013). Combined infrared-convective drying of murta (*Ugni molinae* Turcz) berries: kinetic modeling and quality assessment. *Drying Technol*, 31(3), 329-338.

*Research Article***Modeling of Black mulberry drying process with two-way infrared system by Genetic Algorithm-Artificial Neural network****Alireza asadi amirabadi<sup>\*1</sup>, Mahdi Shavandi<sup>2</sup>, Mahdi Kashani nejad<sup>3</sup>**

1. Ph. D. Student, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. M. Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

**Abstract**

Black mulberry is a very important and rich source of polyphenols and anthocyanin's that dry and maintain can be valuable. The use of infrared radiation as a new method in drying preserves the quality of the final product, which increases the speed of drying and reduces the cost of the process. The effect of 120, 180, 240 W of infrared power, 5, 10 and 15 cm of sample distance from infrared source and drying time on black mulberry drying were investigated. Modeling of black mulberry drying was used to predict the output of this study using genetic algorithm-artificial neural network with four inputs (infrared power, sample distance from infrared source and drying time) and one output (weight loss percentage). It was determined that by increasing the infrared power and reducing the distance between the samples and the infrared lamp, the drying rate of black mulberry was significantly increased by two-way infrared ( $P < 0.05$ ). The sigmoid activation function was selected as the activation function in the hidden layer and output layer due to the lower error value than other functions. According to the test method and the fault method, 15% of the data was used for training to achieve the best learning conditions for the relationships between inputs and outputs by the network. 15% of the data was used for the trained network test, and 60% of the remaining data was used to evaluate the network. According to the results, it can be concluded that using the sigmoid activation function and the network with 8 neurons in a hidden layer, we can well analyze the percentage of weight loss using the genetic algorithm-artificial neural network during the black mulberry drying process was predicted by two-way infra-red method ( $R^2=0/999$ ). Drying time was introduced as the most effective factor for controlling black mulberry weight loss using sensitivity analysis by optimal neural network.

**Keywords: Neural Network, Genetic Algorithm, Black mulberry, Prediction, Two-Way Infrared.**

---

\* Corresponding author: kashaninejad@yahoo.com