

# مدل سازی فرآیند خشک کردن هلو توسط خشک کن فروسرخ به روش الگوریتم ژنتیک

فخرالدین صالحی<sup>a</sup>، سید حسین حسینی قابوس<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران  
<sup>b</sup>استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۶/۱۷

۱۷

## چکیده

**مقدمه:** به دلیل بهره‌وری پایین انرژی و مدت‌زمان طولانی خشک کردن محصولات کشاورزی با روش‌های متداول، استفاده از روش‌های نوین نظیر پرتودهی فروسرخ لازم است مورد بررسی قرار گیرد.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه جهت خشک کردن و افزایش زمان ماندگاری هلو، از روش پرتودهی فروسرخ استفاده گردید. اثر توان لامپ فروسرخ در سه سطح ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات، فاصله نمونه از لامپ در سه سطح ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر و در فاصله زمانی ۱ دقیقه‌ای تا مدت زمان ۱۲۰ دقیقه بر خشک کردن هلو مورد بررسی قرار گرفت. 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.

**یافته‌ها:** نتایج خشک کردن هلو 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 از ۳۹/۴ به ۸۷/۵۰ درصد افزایش یافت. با افزایش فاصله لامپ ۲۵۰ وات از ۵ به ۱۰ سانتی‌متر، درصد کاهش وزن از ۸۷/۶ به ۷۳/۵ درصد برای نمونه هلو کاهش یافت. نتایج مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۱۳ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک می‌تواند درصد کاهش وزن در طی فرآیند خشک کردن هلو به روش فروسرخ را پیشگویی نماید ( $R=0.9990$ ).

**نتیجه‌گیری:** نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه نشان داد که زمان خشک کردن به‌عنوان مؤثرترین عامل در کنترل کاهش وزن برش‌های هلو می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم ژنتیک، آنالیز حساسیت، فروسرخ، هلو

## مقدمه

هلوی تازه (*Prunuspersica L.*) از بیش از ۸۶ درصد آب تشکیل شده است و جزء غنی‌ترین منابع ویتامین‌ها و مواد معدنی است؛ بنابراین می‌بایست آن را در طول سال به صورت تازه یا خشک مصرف نمود (Kingsly *et al.*, 2007). فصل برداشت هلوی کوتاه بوده و به دلیل نرم و حساس بودن بافت میوه در مرحله پس از برداشت، بهتر است جهت نگهداری طولانی مدت فرآوری شود. امروزه صنعت خشکبار در جهان بسیار بیشتر از گذشته رونق یافته و به یک تجارت ۱۴۲۰ میلیون دلاری بدل شده است. در این بین دستیابی به بازارهای مصرف و افزایش درآمد تولیدکنندگان بخش کشاورزی منوط به افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی و فرآورده‌های آن‌ها است (Rastogi, 2012; Salehi *et al.*, 2015). میوه هلوی را علاوه بر مصرف به شکل تازه، می‌توان به صورت آب میوه، مربا و خشک‌شده نیز استفاده نمود. بهینه‌سازی فرآیند تولید برگه هلوی با استفاده از اسمز توسط محققان بررسی شده است. روش اسمز با استفاده از محلول‌های ساکاروز، شربت گلوکز و مخلوط آن‌ها در مدت زمان ۶ ساعت انجام شد و استفاده از این روش به‌عنوان یک فرآیند جهت افزایش کیفیت محصول قبل از خشک‌کردن در هوای آزاد توصیه شده است (Souti Khiabani *et al.*, 2003). Sahari و همکاران (2006) خصوصیات فیزیکیوشیمیایی هلوی ورقه شده در طی پیش‌تیمار و آبیگری اسمزی را بررسی نمودند. شرایط بهینه خشک‌کردن و خصوصیات محصول خشک‌شده گزارش شده است. Kingsly و همکاران (2007) اثر پیش‌تیمار (متاپتاسیم، بی سولفیت و اسید آسکوربیک) و دمای هوای خشک‌کردن (۵۵ و ۶۵ درجه سلسیوس) بر رفتار خشک شدن برش‌های هلوی را بررسی نمودند. Germer و همکاران (2010) اثر دما و غلظت شربت ساکاروز بر آبیگری اسمزی هلوی را ارزیابی نمودند. 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 (Salehi *et al.*, 2016). در خشک‌کردن میوه‌ها با توجه به حساسیت آن‌ها، کاهش مدت زمان

مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن هلوی توسط خشک‌کن فرورسرخ به روش الگوریتم ژنتیک

خشک‌کردن می‌تواند باعث حفظ کیفیت اولیه محصول گردد. پرتو فرورسرخ (IR) بخشی از طیف الکترومغناطیسی بوده و به سه دسته فرورسرخ نزدیک با دامنه ۱/۴-۰/۷۵ میکرومتر، فرورسرخ متوسط با دامنه ۳-۱/۴ میکرومتر و فرورسرخ دور با دامنه ۱۰۰۰-۳ میکرومتر تقسیم می‌شود. پرتودهی با فرورسرخ 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 فرآوری نیز وجود دارد (Nimmol, 2010; Pan *et al.*, 2008). جذب پرتو توسط مواد غذایی عمدتاً به میزان آب، ضخامت و ماهیت فیزیکیوشیمیایی محصول بستگی دارد.

Hebbar و همکاران (2004) از یک خشک‌کن ترکیبی فرورسرخ با هوای داغ در سه حالت ترکیبی، فرورسرخ به‌تنهایی و هوای داغ به‌تنهایی برای خشک‌کردن سیب‌زمینی و هویج استفاده کردند. نتایج به دست آمده حاکی از کاهش زمان خشک شدن و کاهش انرژی مصرفی در خشک‌کن ترکیبی نسبت به فرورسرخ و هوای داغ بود. Afzal و همکاران (1999) میزان مصرف انرژی و کیفیت جو خشک شده را در دو خشک‌کن همرفتی و ترکیبی فرورسرخ و هوای داغ مقایسه کردند. این محققان گزارش کردند که استفاده از اشعه فرورسرخ در خشک‌کن همرفتی باعث افزایش سرعت خشک شدن و کاهش قابل توجه انرژی مصرفی نسبت به خشک‌کن همرفتی بدون استفاده از اشعه فرورسرخ می‌شود.

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۱</sup> قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند (Salehi and Razavi, 2016). 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 عموماً به‌وسیله آزمون وخطا انجام می‌شود که وقت‌گیر بوده و دارای خطا می‌باشد. لذا روش‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک<sup>۲</sup> در جهت غلبه بر این مشکل ذاتی شبکه‌های عصبی و به دست آوردن تعداد بهینه نرون‌ها در

<sup>1</sup> Artificial Neural Network (ANN)

<sup>2</sup> Genetic Algorithm c(GA)

بیشترین میانگین ضریب رگرسیون ۰/۹۷۲۵ با یک لایه مخفی و پنج نرون و روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوتبه دست می‌آید.

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 هلو به روش فرورسرخ و مدل‌سازی انتقال جرم فرآیند با استفاده از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### - خشک کردن

برای انجام فرآیند خشک کردن ابتدا هلوها از استان همدان تهیه و به قطعاتی با ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر برش داده شدند. ورقه‌های هلو بلافاصله پس از برش جهت پرتو دهی توسط خشک‌کن فرورسرخ مورد استفاده قرار گرفتند. جهت خشک کردن نمونه‌های برش خورده با خشک‌کن فرورسرخ از متغیرهایی شامل توان‌های لامپ فرورسرخ<sup>۴</sup> در سه سطح ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات و فاصله لامپ از نمونه در سه سطح ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی<sup>۵</sup> با دقت ۰/۰۱ ± گرم که در خشک‌کن تعبیه شده بود، ثبت گردید.

میزان کاهش وزن (WR)،<sup>۶</sup> از طریق معادله زیر محاسبه گردید.

$$WR = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

WR: درصد کاهش وزن هلو

A<sub>0</sub>: جرم اولیه نمونه (gr)

A<sub>t</sub>: جرم نمونه بعد از خشک شدن (gr)

تجزیه و تحلیل آماری در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از برنامه Excel (۲۰۰۷) و برای تجزیه و تحلیل آماری از

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<sup>۱</sup>، آمیزش<sup>۲</sup> و جهش<sup>۳</sup> که در مورد سیستم‌های مصنوعی بکار می‌روند، می‌باشد (Ramzi et al., 2015; Salehi and Razavi, 2016).

مدل‌سازی ریاضی و شبکه عصبی خشک کردن لایه‌نازک برش‌های هلو توسط Yazdani و همکاران (2013) انجام شده است. ابتدا برش‌های هلو در دماهای مختلف (۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس) و سرعت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه خشک شدند. نتایج نشان داد که مدل میدلی در تمامی شرایط آزمایش در مقایسه با سایر مدل‌ها نتایج بهتری را ارائه می‌نماید (R<sup>2</sup>=0.9982). شبکه پرسپترون چندلایه جهت مدل‌سازی سینتیک خشک کردن استفاده شد. بر اساس نتایج شبکه‌ای با ساختار ۱-۴-۶-۳ بهترین کارایی را در مدل‌سازی خشک کردن هلو با هوای داغ داشت (R<sup>2</sup>=0.99996) (Yazdani et al., 2013).

Salehi و همکاران (2015) 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 ۱ لایه پنهان و ۱۴ نرون در هر لایه می‌باشد.

Erenturk و Erenturk (2007) نیز از روش‌های الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی فرآیند خشک کردن هویج استفاده نمودند. نتایج این محققان حاکی از قدرت بالای این روش جهت مدل‌سازی فرآیندهای خشک کردن مواد غذایی می‌باشد. همچنین Saetan و Lertworasirikul (2010) مدل‌سازی انتقال جرم آبیگری اسمزی پوست لیموی آفریقایی را توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پیش‌بینی میزان دفع آب و جذب مواد جامد توسط شبکه عصبی چندلایه با سه ورودی (دما، زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی و غلظت مواد جامد) نشان داد که بهترین شبکه با کمترین مجموع مربعات خطا برابر ۰/۰۰۶۶ و

<sup>1</sup> Selection <sup>2</sup> Crossover <sup>3</sup> Mutation

<sup>5</sup> Digital balance, LutronGM-300p (Taiwan)

<sup>4</sup> Infrared Heat Lamp (NIR), Noor Lamp Company, Iran.

<sup>6</sup> Weight Reduction

نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

### مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی

مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن هلو به روش فرورسرخ جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیشخورانجام پذیرفت. خروجی نرون‌های لایه پنهان و خروجی (y) از طریق افزایش بایاس<sup>۱</sup> به مجموع ورودی‌های وزن دار شده با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Salehi and Razavi, 2012).

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

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

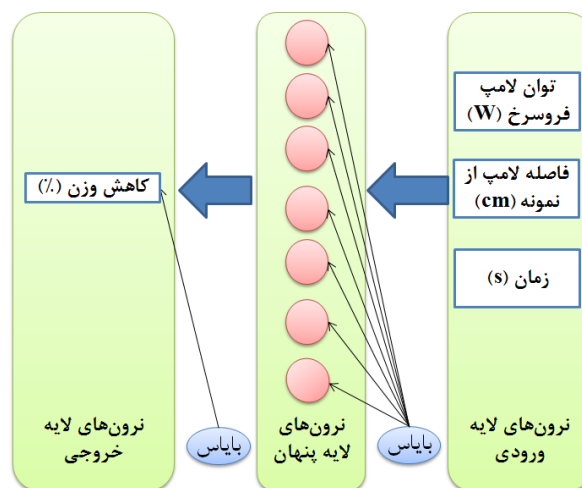
در این مطالعه سه ورودی (توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و مدت زمان خشک‌کردن) و یک خروجی (درصد کاهش وزن) در نظر گرفته شد (شکل ۱). تعداد نرون‌های لایه پنهان، وابستگی کامل به نوع کاربرد و شرایط تعیین پارامترهای شبکه دارد. برای رسیدن به ترکیبی مناسب از تعداد نرون‌ها در لایه پنهان که حداقل خطا را در بر داشته 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 (Salehi and Razavi, 2016, 2012). احتمال آمیزش و جهش بر اساس توصیه راهنمای نرم‌افزار نروسولوشن<sup>۲</sup> (نسخه ۶)، ۰/۹ و ۰/۰۱؛ و تعداد نرون‌ها جهت بهینه‌سازی ۱ تا ۳۰ عدد در نظر گرفته شد. از توابع فعال‌سازی<sup>۳</sup> خطی، سیگموئیدی<sup>۴</sup> (رابطه ۳) و تانژانت هیپربولیک<sup>۵</sup> (رابطه ۴) که متداول‌ترین نوع توابع فعال‌سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید. در این پژوهش روش بهینه‌سازی لوبنبرگ - مارکوت به منظور یادگیری شبکه مورد استفاده قرار گرفت (Salehi and Razavi, 2012).

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

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

به منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده‌شده پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی<sup>۶</sup> 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 - مارکوت<sup>۷</sup>، بهترین ساختار<sup>۸</sup> شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد.



شکل ۱- شماتیک سیستم الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده در این مطالعه

<sup>1</sup> Bias <sup>2</sup> Neurosolution Software (Excel software release 6.0), Neuro Dimension, Inc., USA

<sup>3</sup> Activation Function

<sup>4</sup> Sigmoid Functions

<sup>5</sup> Hyperbolic Tangent Function

<sup>6</sup> Correlation Coefficient (r)

<sup>7</sup> Levenberg-Marquardt (LM)

<sup>8</sup> Topology

## یافته‌ها

## - خشک کردن

جهت بررسی اثر توان لامپ فرورسرخ بر سرعت خشک شدن برش‌های هلو، از سه لامپ فرورسرخ با توان‌های ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات استفاده گردید. نتایج نشان داد که تغییر توان لامپ اثر معنی‌داری ( $P < 0/05$ ) بر خروج آب از برش‌های هلو دارد و با افزایش توان لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد.

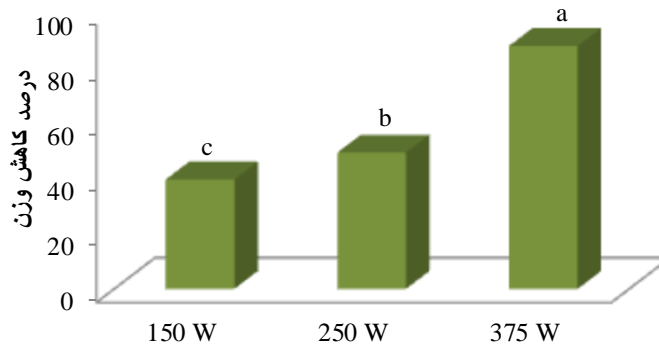
در شکل ۳ اثر زمان خشک کردن ورقه‌های هلو توسط سامانه فرورسرخ بر درصد کاهش وزن نمونه‌ها به نمایش در آمده است. با افزایش زمان خشک شدن نیز مقدار رطوبت خارج شده از نمونه‌ها افزایش یافته است.

در شکل ۴ اثر فاصله لامپ فرورسرخ از ورقه‌های هلو بر درصد کاهش وزن نمونه‌های به نمایش در آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش فاصله نمونه‌ها از

منبع فرورسرخ، سرعت خشک شدن و کاهش رطوبت نمونه‌های هلو کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله لامپ ۲۵۰ وات از ۵ به ۱۰ سانتی‌متر و در مدت زمان ۵۰ دقیقه، درصد کاهش وزن از ۸۷/۶ به ۷۳/۵ درصد برای نمونه هلو کاهش یافت.

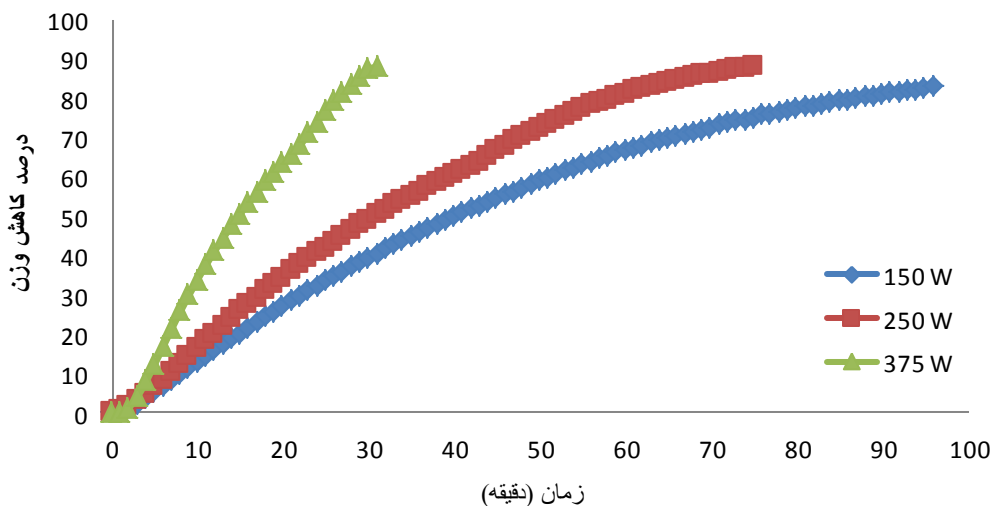
## - نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۲۵ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد (جدول ۱). ۱۵ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (۶۰ درصد) استفاده گردید (جدول ۲).



Infrared lamp power

شکل ۲- اثر توان لامپ فرورسرخ بر کاهش وزن هلو (۱۰ سانتی‌متر و ۳۰ دقیقه)

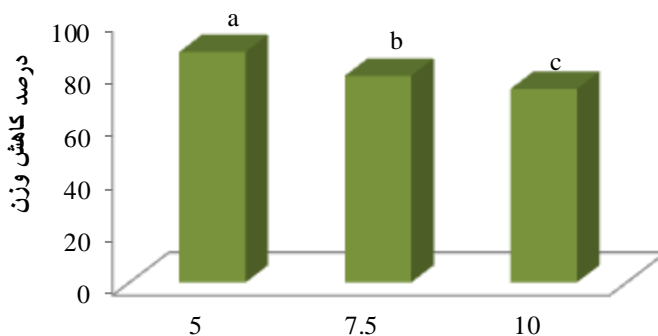


شکل ۳- اثر توان لامپ فرورسرخ و زمان بر کاهش وزن هلو (۱۰ سانتی‌متر)

مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن هلو توسط خشک‌کن فروسرخ به روش الگوریتم ژنتیک

کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل حدود ۳۰ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد.

مقدار میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۵ به نمایش در آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در همان نسل‌های اول مقدار خطا



فاصله (cm)

شکل ۴- اثر فاصله لامپ فروسرخ از سطح نمونه بر کاهش وزن برش‌های هلو (۵۰ دقیقه و ۲۵۰ وات)

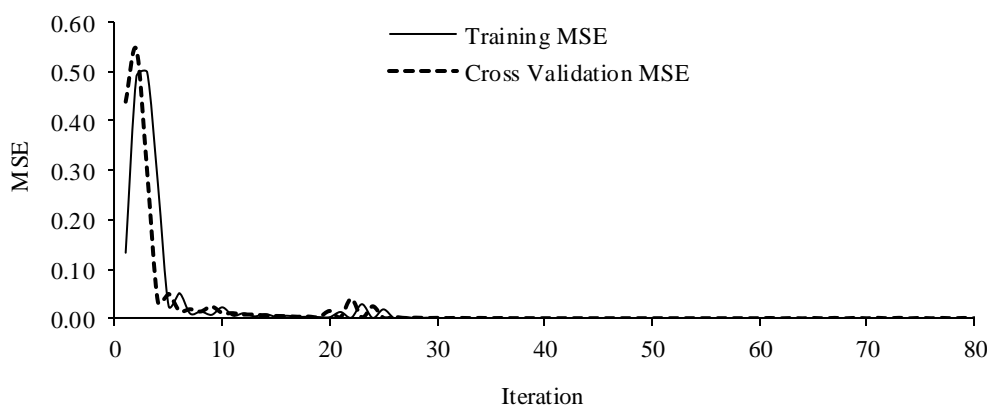
جدول ۱- مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

تعداد لایه‌های پنهان	قاعده یادگیری	نوع تابع فعال‌سازی	تعداد نرون لایه پنهان	درصد داده‌های یادگیری	درصد داده‌های آزمون	درصد داده‌های ارزیابی
۱	لیونبرگ - مارکوت	تانژانت هیپربولیک	۱۳	۲۵٪	۱۵٪	۶۰٪

۲۲

جدول ۲- مقادیر خطاها در پیش‌بینی داده‌های ارزیابی توسط شبکه عصبی مصنوعی بهینه دارای ۱۳ نرون در لایه پنهان

خطا	کاهش وزن
میانگین مربعات خطا	۱/۳۴۳
میانگین مربعات خطای نرمالیزه شده	۰/۰۰۲
میانگین خطای مطلق	۰/۶۷۹
ضریب همبستگی	۰/۹۹۹۰



شکل ۵- مقادیر میانگین مربعات خطا (MSE) به‌عنوان تابعی از تعداد سیکل‌های یادگیری طی فرآیند یادگیری و آزمون شبکه عصبی مصنوعی

<sup>1</sup> Mean Squared Error (MSE)

توسط شبکه عصبی بهینه (۳/۱۳/۱) در شکل ۶ نشان داده شده است.

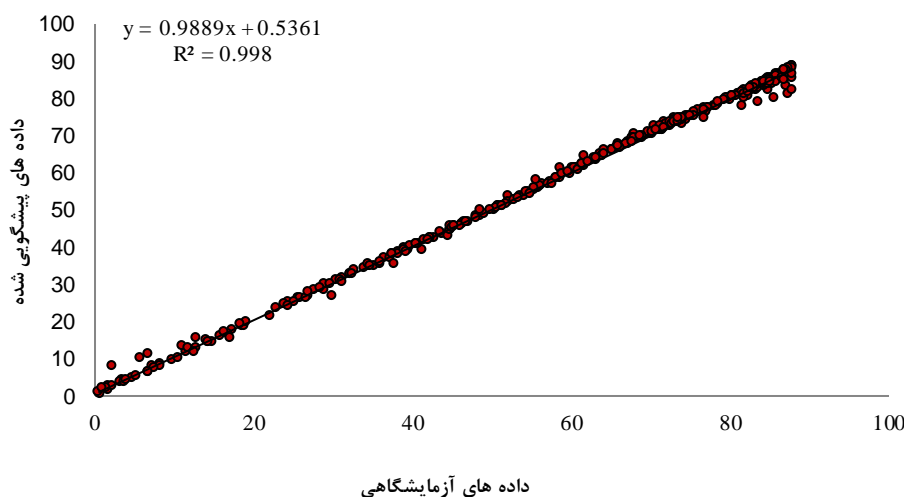
همان طوری که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، زمان خشک کردن به‌عنوان مؤثرترین عامل در هنگام پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن هلو به روش فرسرخ می‌باشد.

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 ۱۳ نرون در لایه پنهان آورده شده است.

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۶۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیشگویی شده درصد کاهش وزن

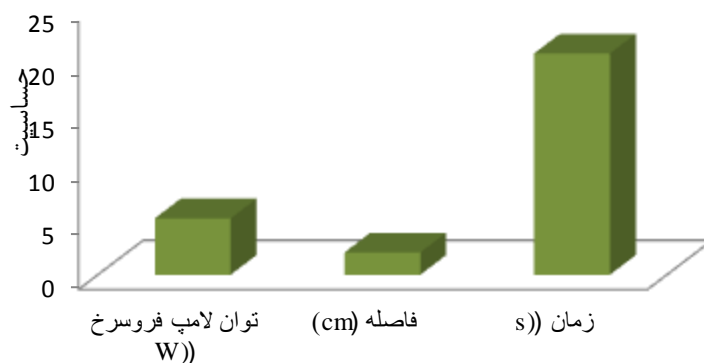
جدول ۳- مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون در مدل الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نهایی.

تعداد نرون لایه پنهان	بایاس	نرون‌های ورودی		نرون‌های خروجی	
		توان لامپ (w)	فاصله (cm)	زمان (s)	کاهش وزن (%)
۱	-۰/۵۰۹۹	۱/۰۹۴۶	۱/۴۷۳۷	-۰/۲۷۱۰	۰/۷۲۲۴
۲	-۴/۲۷۵۷	-۰/۰۱۲۷	-۰/۰۵۶۶	-۳/۹۹۵۶	-۲/۶۸۵۸
۳	-۰/۴۳۸۶	-۰/۴۵۴۲	-۰/۶۲۰۲	-۰/۷۱۱۱	۰/۹۶۷۲
۴	-۰/۰۷۹۲	-۰/۱۱۷۰	-۰/۳۱۹۴	-۰/۲۹۹۵	۰/۱۱۳۱
۵	-۰/۲۲۸۱	-۳/۱۶۸۸	-۰/۰۲۳۸	-۰/۴۳۰۸	-۰/۶۷۸۰
۶	-۰/۹۲۶۷	۰/۵۵۸۶	۰/۶۳۲۴	-۲/۴۲۶۵	۱/۶۹۲۷
۷	۱/۷۳۸۵	۱/۳۹۰۶	-۲/۶۵۸۲	۱/۸۵۶۲	۰/۷۱۷۵
۸	-۱/۴۵۶۳	۱/۳۶۸۵	۱/۱۰۲۵	-۰/۸۹۵۲	-۱/۰۰۷۳
۹	-۱/۹۸۶۵	۰/۵۵۸۶	-۰/۳۲۵۶	۱/۱۱۲۹	۰/۹۱۴۹
۱۰	-۰/۳۶۵۲	۱/۳۱۱۳	-۰/۳۶۳۱	۱/۹۸۵۷	۰/۵۲۹۷
۱۱	-۱/۹۶۳۵	-۰/۰۹۲۸	۳/۹۸۳۱	-۱/۹۷۵۷	-۰/۹۸۲۴
۱۲	-۱/۹۶۳۵	-۰/۰۹۲۸	۳/۹۸۳۱	-۱/۹۷۵۷	-۰/۸۱۳۰
۱۳	۲/۰۵۱۵	-۳/۱۶۸۸	-۰/۰۲۳۸	-۰/۴۳۰۸	۰/۸۱۴۰
بایاس					-۰/۷۰۱۰



شکل ۶- مقادیر تجربی داده‌های ارزیابی در برابر مقادیر پیشگویی شده درصد کاهش وزن طی خشک کردن هلو به روش فرسرخ

مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن هلو توسط خشک‌کن فرورسرخ به روش الگوریتم ژنتیک



شکل ۷- نتایج آنالیز حساسیت مدل‌سازی خشک‌کردن هلو به روش فرورسرخ.

## بحث

در یک فاصله ثابت از نمونه‌ها، با افزایش توان لامپ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، مقدار کاهش وزن افزایش یافت (شکل ۲). نتایج حاکی از معنی‌دار بودن ( $P < 0.05$ ) اثر تغییر فاصله لامپ از نمونه‌ها، بر مقدار کاهش وزن برش‌های هلو می‌باشد و با کاهش فاصله لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد.

افزایش توان لامپ فرورسرخ باعث افزایش دمای خشک‌کن می‌گردد که از یک طرف باعث افزایش ظرفیت جذب رطوبت هوا به دلیل افزایش اختلاف دما بین هوا و محصول شده و از طرف دیگر باعث گرم شدن سریع‌تر محصول و تبخیر بهتر آب از آن می‌شود؛ در نهایت باعث کاهش زمان خشک شدن می‌گردد (Salehi, 2019). همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، در یک فاصله ثابت از نمونه‌ها و در مدت زمان ۳۰ دقیقه، با افزایش توان لامپ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، مقدار کاهش وزن از ۳۹/۴ به ۸۷/۵۰ درصد افزایش یافته است. همچنین با افزایش توان لامپ و کاهش فاصله لامپ پرتودهی در فرآیند خشک شدن، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت افزایش می‌یابد که باعث تسریع در فرآیند خشک شدن می‌گردد (Afzal et al., 1999). با افزایش دمای هوای خشک‌کن با افزایش توان لامپ پرتودهی، آنتالپی هوا افزایش یافته و افزایش آنتالپی میزان انتقال جرم و حرارت افزایش می‌یابد که باعث افزایش ضریب نفوذ مؤثر و کاهش زمان خشک‌کردن می‌شود (Nimmol, 2010; Pan et al., 2008).

به‌منظور پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک‌کردن هلو به روش فرورسرخ از مدل‌سازی الگوریتم

ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و مدت‌زمان خشک‌کردن به‌عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و درصد کاهش وزن به‌عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک به دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید. کاهش سریع در نمودار میانگین مربعات خطا در سیکل‌های اولیه آموزش نشان از یادگیری سریع شبکه می‌باشد که این از ویژگی‌های شناخته‌شده تکنیک اپتیمم سازی لیونبرگ-مارکت می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۱۳ نرون در لایه پنهان می‌تواند به‌خوبی درصد کاهش وزن ( $R=0.9990$ ) در طی فرآیند خشک‌کردن هلو به روش فرورسرخ را پیشگویی نماید. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

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 در مدل الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نهایی گزارش شده است که با استفاده از یک برنامه کامپیوتری می‌توان مقادیر کاهش وزن هلو در طی خشک‌کردن با فرورسرخ را بدون انجام هیچ‌گونه آزمایشی پیشگویی نمود.

به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت بر روی شبکه بهینه انجام شد. در میان متغیرهای ورودی، زمان خشک‌کردن به‌عنوان مؤثرترین عامل در هنگام



## منابع

- Afzal, T., Abe, T. & Hikida, Y., (1999). Energy and quality aspects during combined FIR-convection drying of barley. *Journal of Food Engineering* 42(4), 177-182.
- Erenturk, S. & Erenturk, K., (2007). Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *Journal of Food Engineering* 78(3), 905-912.
- Germer, S. P. M., Queiroz, M. R., Aguirre, J. M., Berbari, S. A. G. & Anjos, V. D. (2010). Process variables in the osmotic dehydration of sliced peaches. *Food Science and Technology (Campinas)* 30(4), 940-948.
- Hebbar, H. U., Vishwanathan, K. & Ramesh, M. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering* 65(4), 557-563.
- Kingsly, R. P., Goyal, R. K., Manikantan, M. R. & Ilyas, S. M. (2007). Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *International Journal of Food Science & Technology* 42(1), 65-69.
- Lertworasirikul, S. & Saetan, S. (2010). Artificial neural network modeling of mass transfer during osmotic dehydration of kaffir lime peel. *Journal of Food Engineering* 98(2), 214-223.
- 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.
- 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(10), 1944-1951.
- 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.
- Rastogi, N. K. (2012). Recent trends and developments in infrared heating in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 52(9), 737-760.
- Sahari, M., Souti, M. & Emam-Jomeh, Z. (2006). Improving the dehydration of dried peach by osmotic method. *Journal of Food Technology* 4(3), 189-193.

پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن هلو به روش فرورسرخ می‌باشد.

Selehi و همکاران (2015) 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 آبیگری شده را مورد آزمون قرار داده و نتایج گزارش شده نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۱۴ نرون در یک لایه پنهان به خوبی درصد کاهش وزن ( $R=0/98$ )، درصد کاهش آب ( $R=0/97$ ) و مقدار جذب مواد جامد ( $R=0/96$ ) در طی فرآیند خشک کردن اسمزی زردآلو را پیشگویی می‌نماید. این مدل می‌تواند به منظور تولید محصولی با کیفیت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات فرآوری و بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار گیرد.

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر توان لامپ فرورسرخ، فاصله نمونه از لامپ و زمان بر درصد کاهش وزن در طی خشک کردن هلو به روش فرورسرخ مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر ذکر شده بر مقدار خروج آب و کاهش وزن مؤثر هستند. با افزایش توان لامپ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، مقدار کاهش وزن از ۳۹/۴ به ۸۷/۵۰ درصد افزایش یافته است. با افزایش فاصله لامپ ۲۵۰ وات از ۵ به ۱۰ سانتی‌متر و در مدت زمان ۵۰ دقیقه، درصد کاهش وزن از ۸۷/۶ به ۷۳/۵ درصد برای نمونه هلو کاهش یافت. مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به عنوان تابعی از توان لامپ فرورسرخ، فاصله نمونه از لامپ و زمان خشک کردن (ورودی‌های شبکه) در طی خشک کردن به روش فرورسرخ استفاده گردید. از روش الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها در لایه مخفی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان داد شبکه دارای ۱۳ 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 ( $0/9990$ ) می‌باشد. نتایج آنالیز حساسیت، زمان خشک کردن را به عنوان مؤثرترین پارامتر بر روی تغییر درصد کاهش وزن هلو معرفی نمود.

Salehi, F. (2019). Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: a review. *International Journal of Fruit Science*.

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(1), 65-76.

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(1), 34-39.

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(1-3), 95-104.

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(31), 14369-14378.

Souti Khiabani, M., Sahari, M. & Emam-Djomeh, Z. (2003). Improving the dehydration of dried peach by applying osmotic method. *Iranian Journal of Agricultural Science* 34(2), 283-291.

Yazdani, M., Borghae, A. M., Rafiee, S., Minaei, S. & Beheshti, B. (2013). Mathematical and neural networks modeling of thin-layer drying of peach (*Prunus persica*) slices and their comparison. *European Journal of Experimental Biology* 3(3), 712-721.

# Modeling of Peach Drying Process using Infrared Dryer by Genetic Algorithm Method

F. Salehi<sup>a</sup>, S. H. Hosseini Ghaboos<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Assistant Professor of the Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

<sup>b</sup> Assistant Professor of the Department of Food Science and Engineering, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Iran.

Received: 8 September 2016

Accepted: 29 February 2017

6

## Abstract

**Introduction:** Due to low energy efficiency and prolonged drying time of agricultural products by conventional methods, application of the new techniques such as infrared radiation, has been investigated.

**Materials and Methods:** In this study, in order to dry and increase the shelf life of peach, infrared radiation (IR) method has been employed. The effect of infrared lamp power at three levels 150, 250 and 375 watts, the distance of the samples from the lamp at three levels 5, 7.5 and 10 cm and at 1 minute intervals for up to 120 minutes on drying of peach were examined. Modeling of process was carried out with genetic algorithm-artificial neural network (GA-ANN) method with 3 inputs (lamp power, distance and time) and 1 output (weight loss).

**Results:** The results of infrared drying of peach showed that by increasing the lamp power and decreasing the sample distance from the heat source, the drying rate is increased. By increasing the infrared lamp power from 150 to 375 watt, the weight loss is increased from 39.4 to 87.50 % and with increase in 250 watt lamp distance from 5 to 10 cm, the weight loss is decreased from 87.6 to 73.5 % for the sample. The GA-ANN modeling results showed that a network with 13 neurons in 1 hidden layer with using hyperbolic tangent activation function can predict the weight loss in peach drying using infrared method (R=0.9991).

**Conclusion:** Sensitivity analysis results by optimum ANN showed that drying time is the most sensitive factor to control the weight loss of peach slides.

**Keywords:** Genetic Algorithm, Infrared, Peach, Sensitivity Analysis.

\* Corresponding Author: Hosseinighaboos@yahoo.com