

کاربرد روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک جهت بررسی افت وزن سیب‌زمینی طی خشک کردن با سامانه مادون‌قرمز

فخرالدین صالحی¹، سید حسین حسینی قابوس^{2*}

- 1- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
2- استادیار مرکز تحقیقات صنایع غذایی شرق گلستان، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران.

تاریخ دریافت: 96/04/06 تاریخ پذیرش: 96/09/30

چکیده

روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های نوین بهینه‌سازی است که عملکرد بالایی در حل مشکلات سیستم‌های مختلف دارد. این الگوریتم با الگوبرداری از ساختار ژنتیکی انسان، قادر است تا همواره بهینه‌ترین جواب را ارائه نماید. در این مطالعه رفتار خشک شدن سیب‌زمینی در یک سامانه مادون‌قرمز بررسی گردید. اثر توان لامپ مادون‌قرمز در سه سطح 150، 250 و 375 وات، فاصله نمونه از لامپ در سه سطح 5، 10 و 15 سانتی‌متر، ضخامت نمونه‌ها در دو سطح 0/5 و 1 سانتی‌متر و زمان بر خشک شدن سیب‌زمینی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خشک کردن سیب‌زمینی به روش مادون‌قرمز نشان داد با افزایش توان لامپ و کاهش فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی، سرعت خشک کردن افزایش می‌یابد. با افزایش توان لامپ از 150 به 375 وات، مقدار کاهش وزن از 29/87 به 78/03 درصد افزایش یافت. با افزایش فاصله لامپ از 5 به 15 سانتی‌متر، درصد کاهش وزن از 69/34 به 37/94 درصد، کاهش یافت. با افزایش زمان فرآیند خشک شدن، مقدار کاهش وزن نمونه‌ها افزایش یافت. در این پژوهش همچنین مدل‌سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی با 4 ورودی (توان، فاصله لامپ، ضخامت نمونه و زمان خشک کردن) و 1 خروجی جهت پیشگویی کاهش وزن انجام شد. نتایج مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نشان داد شبکه‌ای با تعداد 18 نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک می‌توان به خوبی درصد کاهش وزن در طی فرآیند خشک کردن سیب‌زمینی به روش مادون‌قرمز را پیشگویی نمود ($R=0/997$). نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه نشان داد که فاصله لامپ پرتودهی مادون‌قرمز از نمونه‌ها به عنوان مؤثرترین عامل در کاهش وزن سیب‌زمینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، خشک کردن، سیب‌زمینی، مادون‌قرمز، مدل‌سازی.

*مسئول مکاتبات: Hosseinihaboos@yahoo.com

1- مقدمه

از سیب‌زمینی فرآورده‌های زیادی تولید می‌شود که شامل فرآورده‌های خانگی مانند سیب‌زمینی تنوری و فرآورده‌های صنعتی که عبارت‌اند از چیپس سیب‌زمینی، فرآورده‌های خشک‌شده، نشاسته، الکل، انواع محیط کشت و... است (1) و (2). شمار زیادی از فرآورده‌های سیب‌زمینی که به طور صنعتی تولید می‌شود به دو دسته تقسیم می‌گردد که شامل فرآورده‌های خشک‌شده از سیب‌زمینی پخته و فرآورده‌های خشک‌شده از سیب‌زمینی تازه است. گروه اول شامل پوره سیب‌زمینی خشک‌شده است که به صورت گرانول و پرک در می‌آید. گروه دوم نیز شامل ورقه سیب‌زمینی خشک‌شده به صورت ورقه‌ای، خالالی و حبه‌ای می‌باشد (3). به طور کلی خشک کردن یکی از روش‌های نگهداری مواد غذایی محسوب می‌شود. علت توجه زیاد به این روش، افزایش زمان ماندگاری در مقایسه با سایر روش‌ها، تولید محصول با وزن و حجم کمتر و عدم نیاز به سردخانه و کاهش هزینه حمل و نقل و بسته‌بندی می‌باشد (4). یعقوبی و همکاران (1391) سینتیک افت رطوبت و مدل‌سازی ریاضی خشک کردن سیب‌زمینی در یک خشک‌کن هوای داغ را با استفاده از آنالیز رگرسیون بررسی کردند. آزمایش‌ها در دو دمای 65 و 70 درجه سلسیوس انجام گردید. سه مدل ریاضی سینتیکی نیوتنی، پیچ و هندرسون بر داده‌های تجربی برازش داده شدند. نتایج نشان داد که مدل پیچ نسبت به سایر مدل‌ها، مراحل خشک شدن برش سیب‌زمینی را بهتر ارزیابی می‌کند. پرتودهی با مادون‌قرمز برای خشک کردن بسیاری از محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. اشعه مادون‌قرمز دارای مزایای زیادی است که مزیت‌های اصلی آن شامل کاهش زمان خشک کردن و افزایش کیفیت محصول خشک‌شده می‌باشد. 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 (5).

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)¹ به طور گسترده‌ای به منظور مدل‌سازی فرآیندهایی صنایع غذایی و پیشگویی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند (6). توانایی پیشگویی یک شبکه عصبی به نوع تابع فعال‌سازی، تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه پنهان بستگی دارد. تخمین تعداد نرون‌های لایه پنهان عموماً به وسیله آزمون و خطا انجام می‌شود که وقت‌گیر بوده و دارای خطا می‌باشد. لذا روش‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک² 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 انتخاب³، آمیزش⁴ و جهش⁵ که در مورد سیستم‌های مصنوعی بکار می‌روند می‌باشد (6 و 7). هرناندز و همکاران (2004) فرآیند خشک کردن انبه و کاساوا را توسط شبکه عصبی مصنوعی با 5 ورودی شامل مقدار چروکیدگی، دما، زمان، سرعت و رطوبت هوا و دو خروجی شامل دما و رطوبت انبه و کاساوا خشک‌شده مدل‌سازی نمودند و گزارش کردند که شبکه عصبی مصنوعی به خوبی قادر به پیشگویی دما و رطوبت محصول خشک‌شده می‌باشد و کمترین خطا با در نظر گرفتن یک لایه پنهان و سه نرون حاصل می‌شود (8). لرتوراسیریکل و همکاران (2010) مدل‌سازی انتقال جرم آبگیری اسمزی پوست لیمو را توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی بررسی کردند. نتایج پیش‌بینی 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 0/0066 و بیش‌ترین میانگین ضریب رگرسیون

1 - Artificial Neural Network (ANN)

2 - Genetic Algorithm (GA)

3- Selection

4 - Crossover

5 - Mutation

آزمایش‌ها در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از برنامه Excel (2007) و برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار Minitab 16 در سطح معنی‌داری 5% استفاده شد.

2-2- مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی

مدل‌سازی فرآیند خشک کردن سیب‌زمینی به روش مادون‌قرمز 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 دسته‌بندی می‌شوند. خروجی نرون‌های لایه پنهان و خروجی (y) از طریق افزایش بایاس⁴ به مجموع ورودی‌های وزن دار شده با استفاده از رابطه 2 محاسبه می‌شود (10).

(2)

$$y_i = \sum_{j=1}^p f(W_{ij}x_j + b_j)$$

در معادله 2 W_{ij} ضریب وزنی نرون شماره i که به نرون شماره j متصل است، می‌باشد. X ورودی هر نرون، p تعداد ورودی‌های هر نرون و b_j بردار بایاس نرون j است. f نیز نوع تابع فعال‌سازی استفاده شده می‌باشد. در این مطالعه چهار ورودی (توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ، مدت زمان خشک کردن و ضخامت سیب‌زمینی) و یک خروجی (درصد کاهش وزن) در نظر گرفته شد (شکل 1). تعداد نرون‌های لایه پنهان به نوع کاربرد و شرایط تعیین پارامترهای شبکه وابسته است. 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 100 و حداکثر تعداد نسل‌ها نیز 100 نسل در نظر گرفته شده است. احتمال آمیزش و جهش بر اساس توصیه راهنمای نرم‌افزار نروسولوشن⁵ (نسخه 6)، 0/9 و 0/01؛ و تعداد نرون‌ها جهت بهینه‌سازی 1 تا 30 عدد در نظر

0/9725 با یک لایه مخفی و پنج نرون و روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت بدست می‌آید (9). هدف این مطالعه بررسی اثر توان لامپ پرتودهی مادون‌قرمز، فاصله نمونه از لامپ، ضخامت و مدت زمان خشک کردن، بر خشک کردن سیب‌زمینی به روش مادون‌قرمز می‌باشد. همچنین مدل‌سازی فرآیند انتقال جرم نیز با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی انجام و خصوصیات ساختار شبکه عصبی بهینه گزارش می‌شود.

2- مواد و روش‌ها

2-1- خشک کردن

برای انجام آزمایش‌ها سیب‌زمینی وارپته آگریا از بازار گرگان تهیه گردید. آگریا به این دلیل انتخاب شد که بیش‌ترین سطح زیر کشت سیب‌زمینی را به خود اختصاص داده و پرمصرف‌ترین رقم برای تولید صنعتی چپیس سیب‌زمینی در ایران است. برای انجام فرآیند خشک کردن ابتدا سیب‌زمینی‌ها به قطعاتی با ابعاد $3/5 \times 3/5$ سانتی‌متر و ضخامت 0/5 و 1 سانتی‌متر برش داده شدند. ورقه‌های سیب‌زمینی بلافاصله پس از برش جهت پرتودهی مورد استفاده قرار گرفتند. جهت خشک کردن نمونه‌های برش خورده با سامانه مادون‌قرمز از متغیرهایی شامل توان‌های متفاوت لامپ مادون‌قرمز¹ (150، 250 و 375 وات) در فواصل متغیر 5، 10 و 15 سانتی‌متر استفاده شد. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی² با دقت 0/01 ثبت گردید. میزان کاهش وزن (WR)³، از طریق معادله 1 محاسبه گردید.

(1)

$$WR = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \cdot 100$$

WR: درصد کاهش وزن سیب‌زمینی

A_0 : جرم اولیه سیب‌زمینی (gr)

A_t : جرم سیب‌زمینی بعد از خشک شدن (gr)

4 - Bias

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

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

2 - Digital balance, LutronGM-300p (Taiwan)

3 - Weight Reduction

$$NMSE = \frac{1}{\sigma^2} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - T_i)^2 \quad (6)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - T_i| \quad (7)$$

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N [O_i - T_i]^2}{\sum_{i=1}^N [O_i - T_m]^2}} \quad (8)$$

در معادلات فوق O و T به ترتیب مقادیر پیشگویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های تجربی $\sum_{i=1}^N$ تعداد داده‌ها و σ^2 واریانس داده‌ها می‌باشند. T_m با استفاده از رابطه شماره 9 محاسبه می‌گردد:

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^N O_i}{N} \quad (9)$$

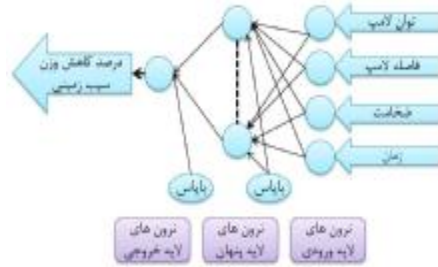
نرم‌افزار نروسولوشن جهت مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی استفاده گردید.

3- نتایج و بحث

3-1- خشک کردن

در روش خشک کردن با مادون قرمز، جذب پرتو توسط مواد غذایی عمدتاً به میزان آب، ضخامت و ماهیت فیزیکوشیمیایی محصول بستگی دارد (4). جهت بررسی اثر توان لامپ مادون قرمز بر سرعت خشک شدن سیب‌زمینی، از سه لامپ مادون قرمز با توان‌های 150، 250 و 375 وات استفاده گردید. نتایج نشان داد که تغییر توان لامپ اثر معنی‌داری ($p < 0/05$) بر خروج آب از سیب‌زمینی دارد و با افزایش توان لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. کاهش همان‌طور که در شکل 2 ملاحظه می‌شود، در یک فاصله ثابت از نمونه‌ها و در مدت زمان 20 دقیقه، با افزایش توان لامپ از 150 به 375 وات، مقدار کاهش وزن از 29/87 به 78/03 درصد افزایش می‌یابد (فاصله 5 سانتی‌متر و ضخامت 0/5 سانتی‌متر).

گرفته شد. از توابع فعال‌سازی¹ خطی، سیگموئیدی² (رابطه 3) و تانژانت هیپربولیک³ (رابطه 4) که متداول‌ترین نوع توابع فعال‌سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید. در این پژوهش روش بهینه‌سازی لوببرگ-مارکوت که یکی از پرکاربردترین قوانین یادگیری است، به منظور یادگیری شبکه مورد استفاده قرار گرفت (10 و 11).



شکل (1) - ساختار شماتیک ورودی و خروجی‌های شبکه عصبی مصنوعی سه لایه (4/18/1).

(3)

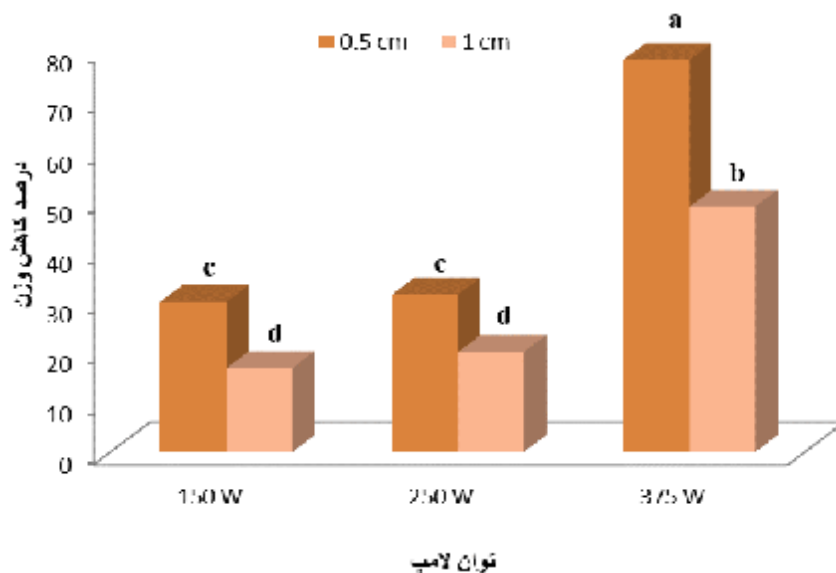
$$\text{Sig} = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (4)$$

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

جهت ارزیابی شبکه‌های عصبی و انتخاب بهترین توپولوژی شبکه برای پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص میانگین مربعات خطا⁴ (5)، میانگین مربعات خطای نرمالیزه⁵ (6)، میانگین خطای مطلق⁶ (7) و ضریب همبستگی⁷ (8) استفاده گردید (10 و 11). ضریب همبستگی مقاداری بین 1- و 1 دارد که اطلاعاتی درباره آموزش شبکه می‌دهد. هر چه عدد ضریب همبستگی به 1 نزدیک‌تر باشد، نشان می‌دهد که آموزش به خوبی انجام شده است.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - T_i)^2}{N} \quad (5)$$

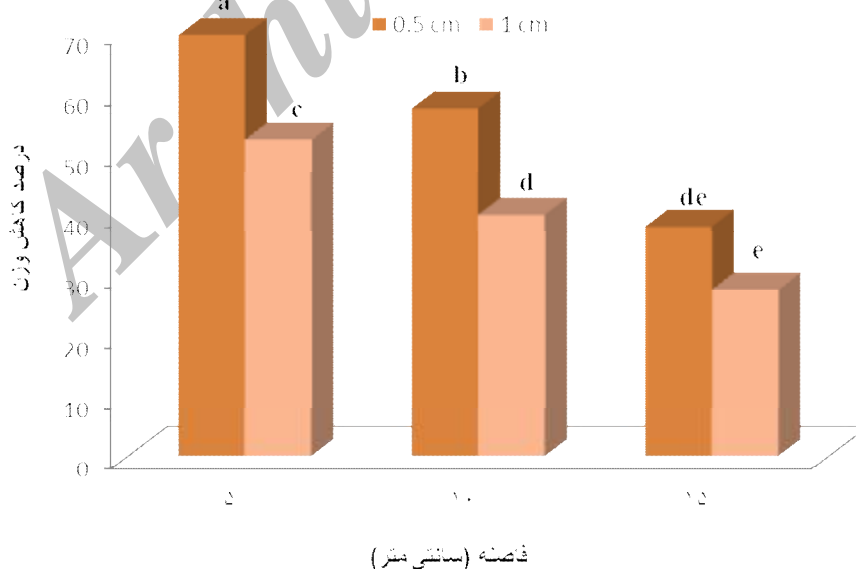
- 1- Activation function
- 2- Sigmoid functions
- 3- Hyperbolic tangent function
- 4- Mean squared error (MSE)
- 5- Normalized mean squared error (NMSE)
- 6- Mean absolute error (MAE)
- 7- Correlation coefficient (r)



شکل (2)- اثر توان لامپ مادون‌قرمز بر درصد کاهش وزن سیب‌زمینی (20 دقیقه اعمال اشعه و 5 سانتی‌متر فاصله).

مادون‌قرمز، سرعت افت وزن و درصد کاهش رطوبت نمونه‌های سیب‌زمینی کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله لامپ 250 وات از 5 به 15 سانتی‌متر، درصد کاهش وزن از 69/34 به 37/94 درصد برای نمونه سیب‌زمینی با قطر 0/5 سانتی‌متر، کاهش می‌یابد.

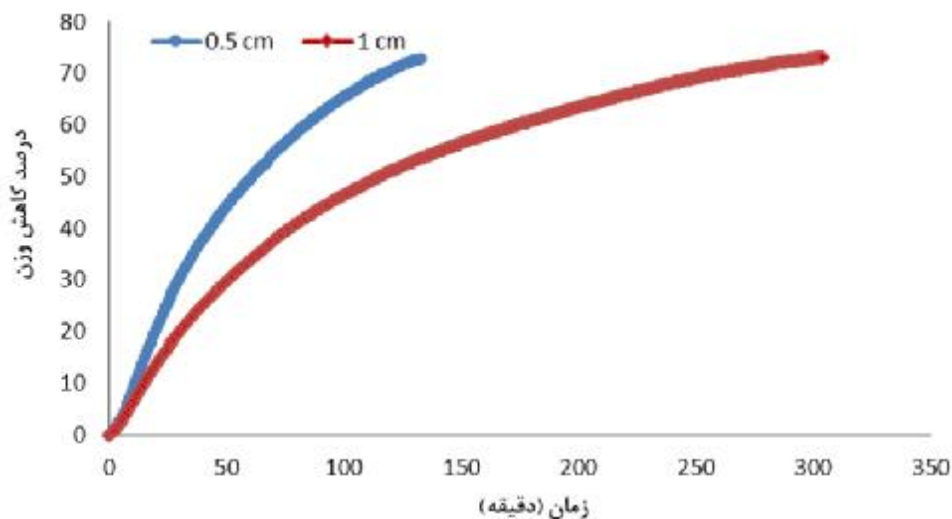
نتایج حاکی از معنی‌دار بودن ($p < 0/05$) اثر تغییر فاصله لامپ از نمونه‌ها، بر مقدار کاهش وزن سیب‌زمینی می‌باشد و با کاهش فاصله لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. در شکل 3 اثر فاصله لامپ مادون‌قرمز از سیب‌زمینی بر درصد کاهش وزن نمونه‌های به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش فاصله نمونه‌ها از منبع



شکل (3)- اثر فاصله لامپ مادون‌قرمز از سیب‌زمینی بر درصد کاهش وزن (80 دقیقه اعمال اشعه و 250 وات).

کردن با اشعه مادون قرمز، هم شدت اشعه و هم عمق بستر تأثیر معناداری در کارایی خشک کردن و کیفیت برنج می گذارد (13). خشک کردن هویج و سیب زمینی توسط هبار و همکاران (2004) توسط سیستم هوای گرم و مادون قرمز و همچنین به صورت ترکیبی انجام شده و اجرای مطالعات تخمینی نشان داد در خشک کردن ترکیبی در مقایسه با هوای گرم، 48 درصد زمان خشک شدن کاهش یافت و همچنین در مصرف انرژی، 63 درصد صرفه جویی نشان داد. همچنین گزارش کردند که خشک کن های تجاری هوای گرم می توانند به صورت مناسبی با سامانه مادون قرمز اصلاح شوند (12). مسو و همکاران (2004) پس از پژوهش لازم در خشک کردن شلتوک که شامل خشک کردن ابتدا با بستر سیال و سپس با مادون قرمز بود به این نتیجه رسیدند که شدت تابش مادون قرمز در خشک کردن شلتوک مرطوب نسبت به شلتوک خشک بیشتر است. همچنین آن ها دریافتند مرحله تمپرینگ در خشک کردن چند مرحله ای لازم به نظر می رسد.

با افزایش ضخامت ماده غذایی کاهش همزمانی در قابلیت انتقال امواج و افزایش در قابلیت جذب رخ می دهد و محصولات با ضخامت کم برای فراوری توسط پرتو مادون قرمز توصیه شده اند (12). افزایش ضخامت سیب زمینی ها اثر معنی داری ($p < 0/05$) بر مقدار کاهش وزن آن ها در طی پرتو دهی دارد و با افزایش ضخامت نمونه ها، زمان خشک شدن افزایش می یابد. در شکل 4 اثر مدت زمان خشک کردن سیب زمینی توسط سامانه مادون بر درصد کاهش وزن نمونه ها به نمایش در آمده است. همان طور که ملاحظه می شود با کاهش ضخامت نمونه ها، زمان خشک شدن کاهش می یابد و نمونه های با قطر 0/5 سانتی متر، نسبت به نمونه های ضخیم تر (1 سانتی متر)، زودتر خشک می شوند. با افزایش زمان خشک شدن نیز مقدار رطوبت خارج شده از سیب زمینی ها افزایش می یابد. همان طور که ملاحظه می شود در فاصله 10 سانتی متری از منبع مادون قرمز و با استفاده از لامپ 250 وات، بعد از 280 دقیقه، تغییری در وزن سیب زمینی با ضخامت 1 سانتی متر مشاهده نمی شود. تحقیقات داس و همکاران (2004) نشان داد که در خشک



شکل (4)- اثر مدت زمان خشک کردن سیب زمینی توسط سامانه مادون بر درصد کاهش وزن (10 سانتی متر فاصله و 250 وات).

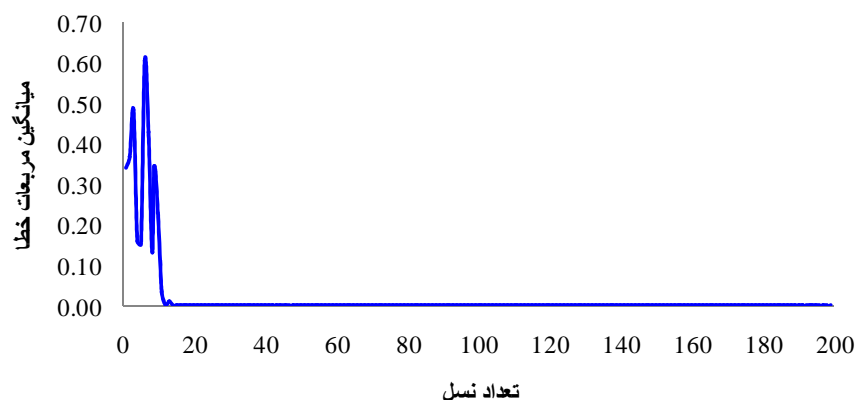
2-3- نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

به منظور پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن سیب‌زمینی به روش مادون‌قرمز از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ، مدت زمان خشک کردن و ضخامت سیب‌زمینی‌ها 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 بدست 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 10 درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به

یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد. 10 درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. 80 درصد باقی‌مانده داده‌ها نیز به منظور ارزیابی شبکه استفاده گردید (جدول 1). نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای 18 نرون در لایه پنهان کمترین میزان میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطای نرمالیزه و میانگین خطای مطلق (به ترتیب 1/527، 0/005 و 0/596) برای پیش‌گویی سرعت خشک شدن سیب‌زمینی را دارد. مقدار میانگین مربعات خطا² در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل 5 به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همان نسل‌های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل حدود 20 نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد.

جدول 1- مقادیر بهینه پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده جهت پیش‌گویی خشک کردن سیب‌زمینی

تعداد لایه‌های پنهان	قاعده یادگیری	نوع تابع فعال‌سازی	تعداد نرون لایه پنهان	درصد داده‌های یادگیری	درصد داده‌های آزمون	درصد داده‌های ارزیابی
1	لیونبرگ-مارکت ¹	تانژانت هیپربولیک	18	10	10	80



شکل (5) - مقادیر میانگین مربعات خطا به عنوان تابعی از تعداد نسل‌های تشکیل شده.

² - Mean squared error (MSE)

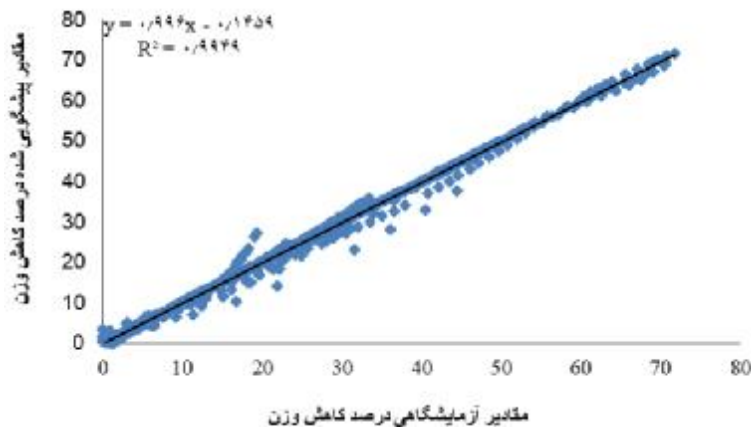
1 - Levenberg-Marquardt (LM)

شبکه‌های عصبی مصنوعی با مدل‌های تجربی نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به مدل‌های تجربی، رفتار خشک شدن را با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌کند (14). صالحی و همکاران (2014) 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 آنگیری شده را مورد آزمون قرار داده و نتایج گزارش شده نشان داد شبکه‌ای با تعداد 14 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 نماید. این مدل می‌تواند به منظور تولید محصولی با کیفیت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات فرآوری و بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار گیرد (15).

هدف از فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول 2، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای 18 نرون در لایه پنهان آورده شده است. مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (80 درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیشگویی شده درصد کاهش وزن توسط شبکه عصبی بهینه (4/18/1) در شکل 6 نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی (0/997) نشان دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. موقرنژاد و نیکزاد (2007) فرآیند خشک کردن گوجه‌فرنگی در خشک کن قفسه‌ای را توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی با سه ورودی توان گرم‌کننده، سرعت جریان هوا و زمان خشک کردن و یک خروجی نسبت رطوبت گوجه‌فرنگی خشک شده مدل‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که کمترین خطا با یک لایه پنهان و 4 نرون حاصل می‌شود. مقایسه مدل

جدول 2- مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون در شبکه عصبی مصنوعی بهینه جهت مدل‌سازی خشک کردن سیب‌زمینی.

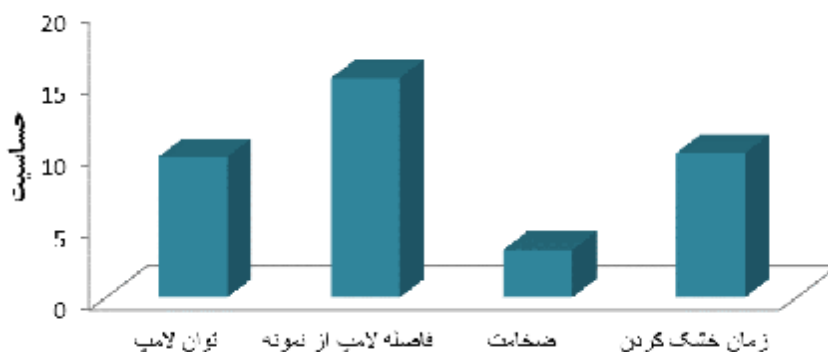
نرون خروجی	نرون‌های ورودی				بایاس	تعداد نرون لایه پنهان
	درصد کاهش وزن	زمان خشک کردن	ضخامت	فاصله لامپ		
-3/2365	2/0515	0/1936	-0/2564	3/2654	0/9865	1
1/2356	-0/3256	3/3656	1/2564	-2/4265	-2/3562	2
0/6324	-0/5130	0/5384	-2/2356	-1/3113	-2/2658	3
-2/7924	-2/4265	0/1936	3/9831	-2/3562	0/2365	4
1/5564	-0/9685	-0/6352	-0/0238	-2/0478	0/1936	5
0/2365	-0/3655	1/1245	1/0265	-0/9685	-0/6352	6
2/0325	0/1661	-3/8096	-0/1489	1/3113	1/1245	7
-1/2564	5/1063	-0/9685	-0/8952	-0/0928	1/2310	8
-0/8952	0/1661	-0/5130	1/1129	-0/3665	1/1661	9
1/2356	1/1245	-0/2365	0/6324	0/7313	0/2564	10
0/3652	-3/8096	1/1043	-2/7924	1/3906	0/1661	11
-2/9685	-0/9685	0/6987	1/3265	-3/8096	-1/1245	12
2/3265	1/2658	-0/6324	-7/208	-0/2365	3/8096	13
1/9856	1/9654	0/2365	1/2365	1/4715	-0/3256	14
0/2255	0/2365	5/1063	-3/8096	-3/8096	0/2564	15
-0/4265	5/1063	4/1043	-0/9685	-0/9685	0/1661	16
1/3265	4/1043	-0/9685	-0/8952	-0/0928	5/1063	17
0/9986	-0/9685	-0/3652	-1/2365	-9865	-3265	18
1/3524						بایاس



شکل (6) - مقادیر تجربی داده‌های ارزیابی در برابر مقادیر پیشگویی شده درصد کاهش وزن طی خشک کردن سیب‌زمینی به روش مادون‌قرمز.

نمونه‌ها به عنوان مؤثرترین عامل در هنگام پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن سیب‌زمینی به روش مادون‌قرمز می‌باشد.

به منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، تست آنالیز حساسیت¹ بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری که در شکل 7 مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، فاصله لامپ مادون‌قرمز از



شکل (7) - نتایج تست آنالیز حساسیت مدل‌سازی خشک کردن سیب‌زمینی به روش مادون‌قرمز.

خروج آب و کاهش وزن مؤثر بودند. با افزایش توان لامپ مادون‌قرمز و کاهش فاصله نمونه از لامپ و همچنین کاهش ضخامت سیب‌زمینی، مقدار رطوبت خارج شده از نمونه‌ها افزایش یافته، در نتیجه سرعت خشک شدن افزایش یافت. در این مقاله، همچنین از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - عصبی مصنوعی جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به عنوان تابعی از توان لامپ مادون‌قرمز، فاصله نمونه از لامپ، ضخامت سیب‌زمینی و زمان خشک کردن (ورودی‌های شبکه) در طی

4- نتیجه‌گیری

خشک کردن یکی از روش‌هایی است که با کمک آن می‌توان مدت زمان ماندگاری سیب‌زمینی را افزایش داد و همچنین امکان صادرات آنرا به صورت یک محصول با ارزش افزوده بالا فراهم آورد. در این مطالعه اثر توان لامپ مادون‌قرمز، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت سیب‌زمینی بر درصد کاهش وزن در طی خشک شدن به روش مادون‌قرمز مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر ذکر شده بر مقدار

7. 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.

8. Hernandez-Perez, J., Garcia-Alvarado, M., Trystram, G., Heyd, B. 2004. Neural networks for the heat and mass transfer prediction during drying of cassava and mango, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5: 57-64.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. Hebbbar, H. U., Vishwanathan, K., Ramesh, M. 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables, *Journal of Food Engineering*, 65: 557-563.

13. Das, I., Das, S., Bal, S. 2004. Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried parboiled rice, *Journal of Food Engineering*, 62: 9-14.

14. Movagharnjad, K., Nikzad, M. 2007. Modeling of tomato drying using artificial neural network, *Computers and Electronics in Agriculture*, 59: 78-85.

15. 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.

خشک کردن به روش مادون قرمز استفاده گردید. از روش الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی تعداد نرون ها در لایه مخفی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان داد شبکه دارای 18 نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک در لایه پنهان و خروجی، شبکه به خوبی قادر به پیشگویی درصد کاهش وزن با ضریب همبستگی بالا (0/997) می باشد. نتایج آنالیز حساسیت، فاصله لامپ پرتو دهی مادون قرمز از نمونه ها را به عنوان مؤثرترین پارامتر بر تغییر درصد کاهش وزن سیب زمینی معرفی نمود.

5-منابع

1. Gopalani, M., Shahare, M., Ramteke, D. S., Wate, S. R. 2007. Heavy metal content of potato chips and biscuits from Nagpur city, India, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79: 384-387.

2. Pedreschi, F., León, J., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R., Kaack, K., Granby, K. 2007. Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips, *Journal of Food Engineering*, 79: 786-793.

3. Vesper, H. W., Licea-Perez, H., Meyers, T., Ospina, M., Myers, G. L. 2005. Pilot study on the impact of potato chips consumption on biomarkers of acrylamide exposure, in: *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*, Springer, pp. 89-96.

4. Salehi, F., Kashaninejad, M., Jafarianlari, A. 2017. Drying kinetics and characteristics of combined infrared-vacuum drying of button mushroom slices, *Heat and Mass Transfer*, 53: 1751-1759.

5. 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.

6. Bahram-Parvar, M., Salehi, F., Razavi, S. M. A. 2016. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) simulation for predicting overall acceptability of ice cream, *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 10: 79-