



## بررسی تجربی و مدل‌سازی اثر پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو بر خصوصیات برش‌های بادمجان سرخ‌شده در دماهای مختلف

فخرالدین صالحی<sup>۱\*</sup> و محمدامین اسدنهال<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۴۰۰/۳/۱۹

<sup>۱</sup> دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

\*مسئول مکاتبه: Email: F.Salehi@Basu.ac.ir

### چکیده

زمینه مطالعاتی: سرخ‌کردن یکی از روش‌های تهیه محصولات غذایی از جمله بادمجان است که به دو روش سطحی و عمیق انجام می‌شود. استفاده از پوشش‌های خوراکی تهیه‌شده از صمغ‌ها در کاهش میزان جذب روغن طی فرآیند سرخ‌کردن عمیق محصولات غذایی سرخ‌شده مؤثر است. محصولات سرخ‌شده پوشش داده‌شده علاوه بر درصد پایین روغن، دارای ویژگی‌های حسی، ظاهری و بافتی بهتر، افت رطوبت کمتر و ارزش تغذیه‌ای بالاتری هستند. هدف: در این تحقیق پوشش‌دار کردن برش‌های بادمجان با استفاده از پوشش خوراکی صمغ دانه مرو برای کاهش جذب روغن فرآورده مورد مطالعه قرار گرفت. روش کار: در این پژوهش از غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) جهت پوشش‌دهی برش‌های بادمجان هنگام سرخ شدن عمیق در دماهای ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سلسیوس استفاده گردید و رابطه بین پارامترهای فرآیند و خصوصیات محصول نهایی به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی گردید. نتایج: نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو باعث کاهش جذب روغن محصول نهایی شد. پیش تیمار پوشش‌دهی باعث حفظ رطوبت محصول نهایی شد و رطوبت نمونه پوشش داده‌شده با ۱/۵ درصد صمغ از سایر نمونه‌ها بیشتر بود. این فرآیند توسط روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی با ۲ ورودی شامل غلظت صمغ دانه مرو و دمای سرخ‌کن و ۵ خروجی شامل درصد روغن، مقدار رطوبت و سه شاخص اصلی رنگی (زردی ( $b^*$ )، قرمزی ( $a^*$ ) و روشنایی ( $L^*$ ) مدل‌سازی شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۳ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی، توانایی لازم برای پیش‌بینی خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های سرخ‌شده بادمجان را دارد. نتیجه‌گیری نهایی: نتایج آزمون آنالیز حساسیت نشان داد که تغییر غلظت صمغ دانه مرو بیشترین تأثیر را بر محتوای رطوبت و سپس بر روی مقدار روغن برش‌های بادمجان سرخ‌شده دارد. همچنین تغییر دمای سرخ‌کن نیز بیشترین تأثیر را بر شاخص روشنایی نمونه‌های سرخ‌شده داشت.

واژگان کلیدی: برش‌های بادمجان، پوشش‌دهی، تابع فعال‌سازی سیگموئیدی، سرخ‌کردن، صمغ دانه مرو

## مقدمه

سرخ کردن یکی از پرکاربردترین روش‌های فرآوری و پخت مواد غذایی در دنیا می‌باشد. در این فرآیند از روغن به عنوان محیط انتقال حرارت به ماده غذایی استفاده می‌شود. دو روش مهم سرخ کردن شامل سرخ کردن عمیق و سطحی است. در روش سطحی، عمق روغن کم و تنها بخشی از ماده غذایی در روغن قرار می‌گیرد؛ اما در سرخ کردن عمیق، عمق روغن زیاد و ماده غذایی در روغن غوطه‌ور می‌شود. فرآیند سرخ کردن می‌تواند به صورت مداوم یا غیر مداوم انجام گیرد (خاکباز حشمتی و همکاران ۱۳۹۹؛ صالحی ۲۰۲۰a). محصولات غذایی سرخ شده با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد مانند رنگ، بو، طعم و بافت مطلوب مورد توجه می‌باشند. جذب روغن در هنگام سرخ کردن عمیق غذاها در روغن، تحت تأثیر تعداد زیادی از عوامل نظیر کیفیت روغن، دما و مدت زمان سرخ کردن، ترکیب ماده غذایی، تیمارهای قبل از سرخ کردن مانند خشک کردن و آنزیم‌بری، پوشش‌دهی محصول اولیه و اندازه ماده غذایی قرار می‌گیرد (مقصودزاده و جلیل‌زاده ۲۰۲۰). محصولات سرخ شده پوشش داده شده علاوه بر درصد پایین روغن، دارای رنگ روشن‌تر، افت رطوبت کمتر، ارزش تغذیه‌ای و حسی بالاتر، تخلخل بیشتر و همچنین دارای ویژگی‌های ظاهری، بافتی و مزه بهتری هستند (جرجانی و همراهی ۲۰۱۵؛ خزائی و همکاران ۲۰۱۶؛ صالحی ۲۰۲۰b). محققان گزارش کرده‌اند که استفاده از پوشش‌های خوراکی تهیه شده از صمغ‌ها در کاهش میزان جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن عمیق محصولات غذایی سرخ شده مؤثر است (جرجانی و همراهی ۲۰۱۵؛ بوازیز و همکاران ۲۰۱۶؛ خزائی و همکاران ۲۰۱۶؛ کورک و همکاران ۲۰۱۷؛ صالحی ۲۰۲۰a؛ گوهری‌اردبیلی و همکاران ۲۰۲۱). اثر پوشش‌دهی با صمغ گزانتان بر تغییر شاخص‌های رنگ و سطح برش بادمجان سرخ شده توسط اسدنهال و همکاران (۱۴۰۱) بررسی

شده است. آنها گزارش کردند که از نظر شاخص روشنایی ( $L^*$ )، بادمجان‌های پوشش داده شده روشن‌تر بوده و نمونه‌های پوشش داده شده با ۱ درصد صمغ گزانتان مقادیر  $L^*$  بالاتری داشته‌اند. میانگین تغییرات مساحت گزارش شده برای نمونه شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ درصد و ۱/۵ درصد صمغ گزانتان هم به ترتیب برابر ۴۹/۴۱، ۴۸/۵۷، ۴۲/۵۴ و ۴۰/۷۷ گزارش شده است.

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) به عنوان روشی نوین جهت مدل‌سازی و بررسی اثرات فرآیندهای مختلف اعمال شده بر مواد غذایی بررسی و استفاده می‌شوند. شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند. 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 به وسیله آزمون و خطا انجام می‌شود که وقت‌گیر بوده و دارای خطا می‌باشد. لذا روش‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک<sup>۲</sup> جهت غلبه بر این مشکل ذاتی شبکه‌های عصبی و به دست آوردن تعداد بهینه نرون‌ها در لایه پنهان مورد استفاده قرار گیرند. الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت است و بر این اساس که بهترین‌ها حق بقا دارند، شکل گرفته است. مفاهیم اصلی GA شامل عملگرهای سه‌گانه انتخاب<sup>۳</sup>، آمیزش<sup>۴</sup> و جهش<sup>۵</sup> که در مورد سیستم‌های مصنوعی بکار می‌روند می‌باشد (رمزی و همکاران ۲۰۱۵؛ صالحی ۲۰۲۰b).

صمغ دانه مرو (*Salvia macrosiphon* L.) از جمله هیدروکلوئیدهای گیاهی است که بدون افزودن هر گونه حلال و در شرایط طبیعی استخراج شده و حاوی انواع کربوهیدرات‌ها، پروتئین و فیبر می‌باشد. این صمغ را می‌توان در فرمولاسیون انواع مواد غذایی و یا برای

1- Artificial Neural Network (ANN)

2- Genetic Algorithm(GA)

3- Selection

4- Crossover

5- Mutation

مخصوص سرخ‌کردن (بهار، ایران) و سرخ‌کن خانگی دلمونتی استفاده شد. جهت کنترل دمای سرخ‌کن از دماسنج دیجیتالی تماسی دو کاناله لوترون<sup>۱</sup> (تایوان) با دامنه دمایی ۰-۵۰ تا ۱۲۳۰ درجه سلسیوس (±۱/۰°C) و ترموکوپل دمایی نوع K با ضخامت یک میلی‌متر استفاده گردید. زمان سرخ‌کردن ۵ دقیقه در نظر گرفته شد و نمونه‌های سرخ‌شده بعد از طی این زمان، از مخزن روغن خارج و پس از حذف روغن سطحی توسط دستمال کاغذی، بلافاصله جهت بررسی تغییرات وزن، درصد روغن، مقدار رطوبت و پردازش تصویر استفاده شدند. تغییرات وزن نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی<sup>۲</sup> با دقت ۰/۰۱ ± گرم، ثبت گردید. مقدار ماده جامد و رطوبت برش‌های تازه و سرخ‌شده بادمجان با استفاده از آون (شیمان، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و در مدت زمان ۵ ساعت اندازه‌گیری شد (با استفاده از رابطه ۱) (حسینی ۲۰۰۶). میانگین رطوبت برش‌های تازه بادمجان ۹۲ درصد بود.

$$MC = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، MC: مقدار رطوبت<sup>۳</sup> (درصد)، M<sub>1</sub>: جرم نمونه قبل از قرارگیری در آون (گرم) و M<sub>2</sub>: جرم نمونه بعد از خروج از آون (گرم) است. درصد روغن نمونه‌های سرخ‌شده از کسر ماده جامد برش‌های تازه بادمجان از مقدار ماده جامد برش‌های سرخ‌شده، تقسیم بر وزن محصول سرخ‌شده ضرب در ۱۰۰ به دست آمد (با استفاده از رابطه ۲).

$$OU = \frac{TS_2 - TS_1}{M_1} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه، OU: روغن جذب‌شده<sup>۴</sup> (درصد)، TS<sub>2</sub>: ماده جامد<sup>۵</sup> برش‌های سرخ‌شده (گرم)، TS<sub>1</sub>: ماده جامد برش‌های تازه (گرم) و M<sub>1</sub>: جرم نمونه سرخ‌شده بادمجان (گرم) است.

پوشش‌دهی انواع محصولات کشاورزی به‌عنوان پوشش خوراکی قبل از فرآیند سرخ‌کردن استفاده کرد. جهت بهبود خصوصیات ظاهری و کاهش روغن جذب‌شده توسط مواد غذایی سرخ شده مانند بادمجان می‌توان آنها را توسط هیدروکلوئیدها (صمغ‌ها) پوشش‌دهی کرد. لذا هدف این تحقیق بررسی، مدل‌سازی و بهینه‌سازی اثر غلظت صمغ دانه مرو بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده شامل درصد روغن، مقدار رطوبت و شاخص‌های رنگی زردی، قرمزی و روشنایی به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو

نمونه‌های بادمجان با اندازه متوسط و یک شکل از استان همدان تهیه گردید. برای انجام فرآیند سرخ‌کردن ابتدا بادمجان به قطعاتی به شکل استوانه با ضخامت ۱ سانتی‌متر و قطر ۳/۳۵ سانتی‌متر توسط قالب فلزی تیز برش داده شدند. دانه‌های مرو از استان همدان تهیه و ناخالصی آن‌ها جداسازی گردید. ابتدا دانه‌های مرو به مدت ۲۰ دقیقه درون آب با دمای ۲۵ درجه سلسیوس و نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ قرار گرفتند. صمغ خارج شده از دانه‌ها، در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک و با آسیاب پودر گردید. جهت بررسی اثر غلظت صمغ مرو بر پارامترهای مورد بررسی، غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد (وزنی/وزنی) از صمغ خشک شده تهیه گردید. برای حل کردن صمغ درون آب از همزن مغناطیسی (شیمان، ایران) استفاده شد. برای پوشش‌دهی، نمونه‌های برش خورده بادمجان به مدت ۱ دقیقه درون محلول‌های تهیه‌شده از صمغ قرار گرفتند.

### فرآیند سرخ‌کردن

برش‌های بادمجان پس از برش و پوشش‌دهی، جهت سرخ‌کردن در سه سطح دمای ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. جهت سرخ‌کردن عمیق از روغن

1- Lutron, TM-916

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

3- Moisture content (MC)

4- Oil uptake (OU)

5- Total solids (TS)

### بررسی شاخص‌های رنگی

رنگ برش‌های بادمجان سرخ‌شده با استفاده از روش پردازش تصویر با سه مؤلفه زردی ( $b^*$ )، قرمزی ( $a^*$ ) و روشنایی ( $L^*$ ) و با به‌کارگیری نرم‌افزار Image J (Image software version 1.42e, USA) مورد بررسی قرار گرفت. در این سیستم مؤلفه  $L^*$  بیانگر شدت روشنایی با محدوده صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید)، مؤلفه  $a^*$  بیانگر شدت قرمزی با محدوده ۱۲۰- (سبز) تا ۱۲۰+ (قرمز) و مؤلفه  $b^*$  بیانگر شدت زردی با محدوده ۱۲۰- (آبی) تا ۱۲۰+ (زرد) است. در این پژوهش از نمونه‌های تازه و سرخ‌شده عکس در فرمت JPG تهیه و بعد از تبدیل به فرمت  $L^*a^*b^*$  توسط نرم‌افزار Image J، شاخص‌های رنگی آنها شامل  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  محاسبه و گزارش شد. در این روش از یک اسکنر اچ‌پی جهت تصویربرداری استفاده گردید.

### تجزیه و تحلیل آماری

کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت. تجزیه و تحلیل آماری در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد.

### مدل‌سازی و بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌سازی فرآیند سرخ‌کردن برش‌های بادمجان پوشش داده‌شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو در دماهای ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سلسیوس به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیش‌خور انجام پذیرفت. در این روش خروجی نرون‌های لایه پنهان و خروجی ( $y$ ) از طریق افزایش بایاس به مجموع ورودی‌های وزن‌دار شده با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$Y_j = \sum_{i=1}^p f(W_{ij}X_i + b_j) \quad (3)$$

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 (صالحی ۱۳۹۸).

در این مطالعه دو ورودی (غلظت صمغ دانه مرو و دمای سرخ‌کن) و پنج خروجی (درصد روغن، مقدار رطوبت، شاخص زردی ( $b^*$ )، شاخص قرمزی ( $a^*$ ) و شاخص روشنایی ( $L^*$ )) 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 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. احتمال آمیزش و جهش بر اساس توصیه راهنمای نرم‌افزار نروسولوشن (نسخه ۵)، ۰/۹ و ۰/۰۱؛ و تعداد نرون‌ها جهت بهینه‌سازی ۱ تا ۳۰ عدد در نظر گرفته شد. از توابع فعال‌سازی خطی، سیگموئیدی<sup>۵</sup> و تانژانت هیپربولیک<sup>۶</sup> که متداول‌ترین نوع توابع فعال‌سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید. در این نرم‌افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی، تعداد داده‌های استفاده‌شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لونیبرگ-مارکواریت<sup>۷</sup> بهترین ساختار شبکه جهت دستیابی به شبکه عصبی بررسی شد. به‌منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده‌شده پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی استفاده گردید (امینی و همکاران ۲۰۲۱).

3- Neurosolution software (Excel software release 6.0),

NeuroDimension, Inc., USA

4- Activation function

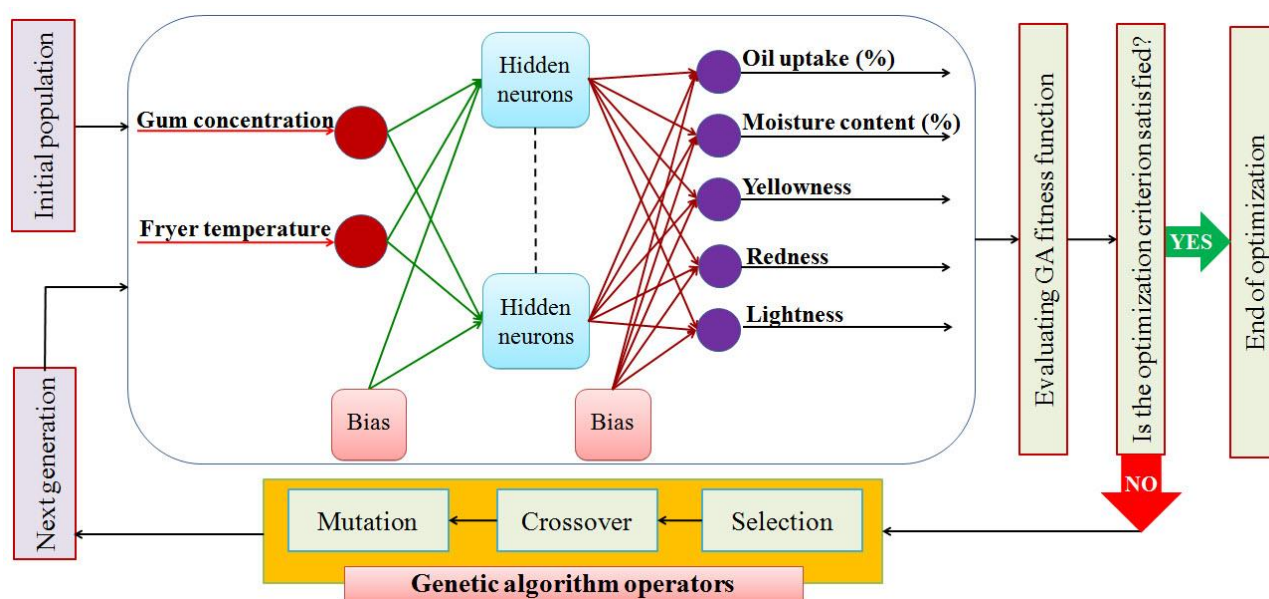
5- Sigmoid functions

6-Hyperbolic tangent function

7- Levenberg-Marquardt (LM)

1- Hp Scanjet 300, China

2- Bias



شکل ۱- شماتیک مدل‌سازی فرآیند سرخ‌کردن برش‌های بادمجان پوشش داده‌شده توسط الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

Figure 1- Schematic of frying process modeling of coated eggplant slices using genetic algorithm-artificial neural network

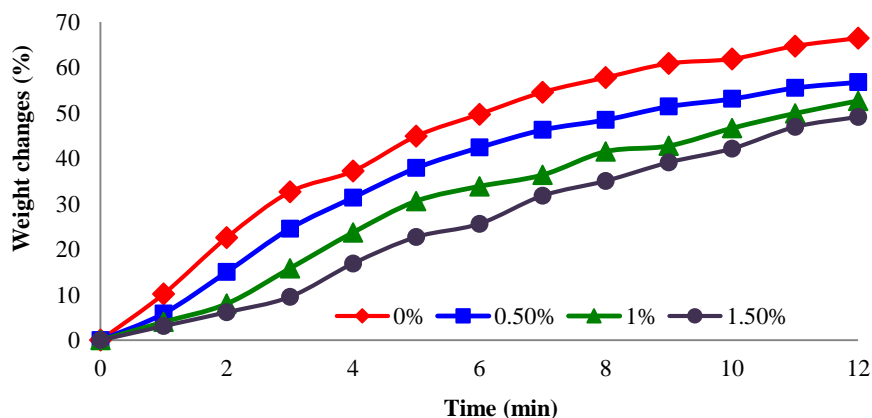
## نتایج و بحث

### خصوصیات برش‌های بادمجان سرخ‌شده

محصولات غذایی سرخ‌شده با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد مانند رنگ، بو، طعم و بافت ترد و مطلوب بسیار مورد توجه می‌باشند. کنترل شرایط سرخ‌کردن و استفاده از پوشش‌های خوراکی می‌تواند به بهبود ویژگی‌های ظاهری و رنگ محصول نهایی کمک کند (صالحی ۲۰۱۸). در جدول ۱ اثر غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو بر درصد روغن و مقدار رطوبت برش‌های بادمجان سرخ‌شده گزارش شده است. مطابق نتایج گزارش شده در این جدول، پوشش‌دهی با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو باعث کاهش جذب روغن شده است ( $P < 0.05$ ) اما بین غلظت‌های ۱ و ۱/۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ) و کمترین جذب روغن مربوط به نمونه پوشش داده‌شده با ۱/۵ درصد صمغ دانه مرو بود. پوشش‌دهی به صورت معنی‌داری باعث افزایش محتوای رطوبت نمونه‌ها گردید ( $P < 0.05$ ) اما بین غلظت‌های ۱ و ۱/۵ درصد تفاوت

معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ) و بیشترین مقدار رطوبت مربوط به نمونه پوشش داده‌شده با ۱/۵ درصد صمغ دانه مرو بود. در پژوهشی، صالحی و همکاران (۱۴۰۰) اثر پوشش‌دهی با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو بر خصوصیات برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده در دماهای مختلف را بررسی کردند. براساس نتایج گزارش شده توسط این پژوهشگران، پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو باعث کاهش جذب روغن محصول نهایی شده و از نظر ویژگی‌های ظاهری، نمونه‌های پوشش داده شده روشنتر بوده‌اند. پیش‌تیمار پوشش‌دهی باعث حفظ رطوبت محصول نهایی شده و اندازه نمونه‌های پوشش داده شده با ۱/۵ درصد صمغ از سایر نمونه‌ها بزرگتر بوده است (درصد تغییرات سطحی کمتر). در پژوهشی دیگر، تولید بامیه با استفاده از پوشش پروتئین آب‌پنیر و بررسی ویژگی‌های کیفی آن طی نگهداری توسط مقصودزاده و جلیل‌زاده (۲۰۲۰) بررسی شده است. مطابق نتایج این پژوهش، پوشش پروتئین آب‌پنیر می‌تواند به عنوان پوشش خوراکی جهت

افزایش می‌یابد. در شکل ۲ اثر پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو بر تغییرات وزن برش‌های بادمجان طی فرآیند سرخ‌کردن گزارش شده است. مطابق این شکل، درصد تغییرات وزن در نمونه‌های پوشش داده شده کمتر است و این نمونه‌ها با سرعت کمتری رطوبت خود را از دست داده و با سرعت کمتری هم روغن جذب می‌کنند. درصد تغییرات وزن در نمونه شاهد بیشتر از نمونه‌های پوشش داده است، لذا این نمونه‌ها رطوبت کمتری داشته و درصد روغن بیشتری هم دارند. سینتیک انتقال حرارت و تغییر رنگ برش‌های بادمجان حین فرآیند سرخ کردن به صورت یک مدل ریاضی در دماهای مختلف توسط صالحی (۱۳۹۸b) بررسی شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که سینتیک تغییرات رنگ پوسته برش‌های بادمجان هنگام سرخ کردن در دماهای مختلف از یک مدل نمایی افزایشی تبعیت می‌کند. دمای مرکز برش‌های بادمجان در دماهای بالا سریع‌تر افزایش یافته و زودتر به سمت دمای روغن افزایش می‌یابد. همچنین دماهای بالا موجب روشنایی کمتر، قرمزی بیشتر و زردی کمتر شده است.



شکل ۲- اثر پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو بر تغییرات وزن برش‌های بادمجان طی سرخ‌کردن

Figure 2- Effect of coating with Wild sage seed gum on the weight changes of eggplant slices during frying.

بالا بودن محتوای روغن ماده غذایی سرخ‌شده موجب کاهش پذیرش محصول از جانب مصرف‌کنندگان می‌شود. مشکل جذب روغن در ارتباط با محصولات

کاهش جذب روغن در بامیه مورد استفاده قرار گیرد و بامیه‌های پوشش داده شده با ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد پروتئین آب‌پنیر به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۳۱ درصد جذب روغن کمتری در مقایسه با شاهد نشان دادند.

#### جدول ۱- اثر پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو بر

#### خصوصیات برش‌های بادمجان سرخ‌شده

Table 1- Effect of Wild sage seed gum coatings on the characteristics of fried eggplant slices.

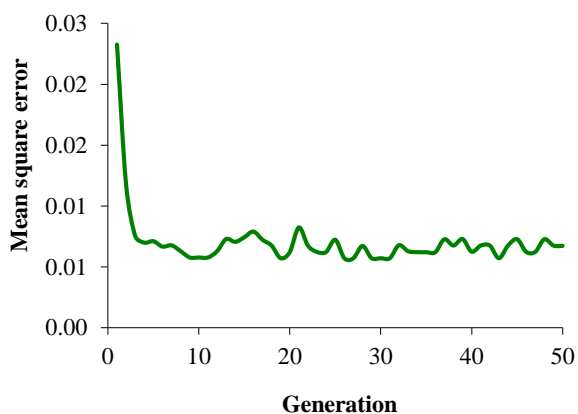
Gum concentration (%)	Oil uptake (%)	Moisture content (%)
0.0	49.39 <sup>a</sup>	39.76 <sup>c</sup>
0.5	34.77 <sup>b</sup>	55.25 <sup>b</sup>
1.0	28.32 <sup>c</sup>	62.07 <sup>a</sup>
1.5	26.28 <sup>c</sup>	64.15 <sup>a</sup>

در فرآیند سرخ‌کردن، انتقال همزمان حرارت و جرم رخ می‌دهد و کوتاه بودن زمان پخت در این فرآیند موجب بروز خواص حسی منحصر به فرد در ماده غذایی، از جمله عطر، طعم و رنگ می‌شود. انتقال جرم در این فرآیند شامل از دست دادن رطوبت نمونه و جذب روغن موجود در سرخ‌کن می‌باشد. هر چقدر سرعت خروج رطوبت از نمونه بیشتر باشد، نمونه با سرعت بیشتری روغن جذب کرده و درصد روغن محصول نهایی

نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

همچنین مقدار ضریب همبستگی برای پارامترهای درصد روغن، مقدار رطوبت، شاخص زردی، شاخص قرمزی و شاخص روشنایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده براساس داده‌های ارزیابی پیش‌بینی شده، محاسبه و گزارش شده است.

مقدار میانگین مربعات خطا در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۳ به نمایش در آمده است. کاهش سریع در نمودار میانگین مربعات خطا در سیکل‌های اولیه آموزش نشان از یادگیری سریع روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.



شکل ۳- مقادیر میانگین مربعات خطا (MSE) (میانگین برازش) در برابر تعداد نسل طی فرآیند بهینه‌سازی سیستم الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

Figure 3- Mean square error (MSE) values (average fitness) versus generation number during the optimization procedure of the genetic algorithm-artificial neural network system

سرخ‌شده را می‌توان با استفاده از هیدروکلوئیدها به‌عنوان پوشش‌های خوراکی در طول فرآیند سرخ‌کردن کاهش داد. به‌منظور پیش‌بینی خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی سیگموئیدی در مقایسه با سایر توابع به دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی استفاده شد.

بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۴۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد. ۲۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش‌دیده استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (۴۰ درصد) استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۳ نرون در لایه پنهان می‌تواند به‌خوبی خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده بدون پوشش و پوشش داده‌شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو را پیش‌بینی نماید.

مقادیر خطاهای محاسبه شده (میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطا نرمالیزه شده و میانگین خطا مطلق) در پیش‌بینی داده‌های آموزش توسط الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بهینه با ۳ نرون در لایه پنهان در جدول ۲ گزارش شده است. در این جدول

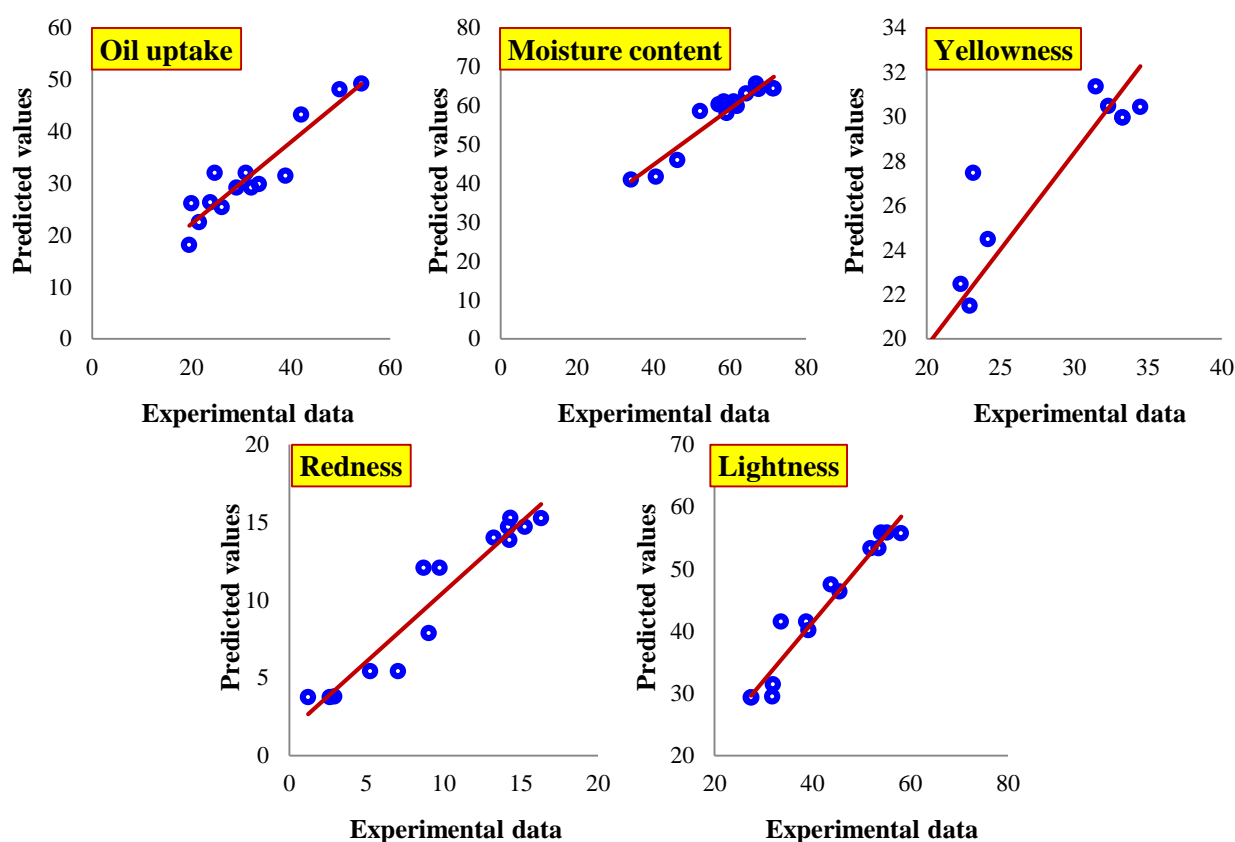
جدول ۲- مقادیر خطا در پیش‌بینی داده‌های آموزش توسط الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بهینه با ۳ نرون در لایه پنهان

Table 2- The error values in prediction of testing data by optimal genetic algorithm-artificial neural network with 3 neurons in hidden layer

Error	Oil uptake	Moisture content	Yellowness	Redness	Lightness
Mean squared error	15.027	15.906	5.721	2.324	7.702
Normalized mean squared error	0.137	0.136	0.077	0.094	0.070
Mean absolute error	3.017	3.115	1.850	1.249	2.051
Correlation coefficient (r)	0.934	0.951	0.967	0.959	0.972

مصنوعی می‌باشد. میانگین ضریب همبستگی محاسبه شده برای پارامترهای مربوط به خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده برابر ۰/۹۵۶ بود. کمترین مقدار ضریب همبستگی محاسبه شده برای پیش‌بینی پارامتر درصد روغن نمونه‌های سرخ‌شده (۰/۹۳۴) و بیشترین مقدار آن مربوط به پارامتر شاخص روشنایی (۰/۹۷۲) بود.

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۴۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیشگویی شده درصد روغن، مقدار رطوبت، شاخص زردی، شاخص قرمزی و شاخص روشنایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده توسط شبکه عصبی بهینه (۲/۳/۵) در شکل ۴ نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی برای پارامترهای بررسی شده نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی



شکل ۴- داده‌های تجربی در برابر مقادیر پیش‌بینی شده برای خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده پوشش داده‌شده با صمغ دانه مرو

Figure 4- Experimental data versus predicted values for the physicochemical characteristics of fried eggplant slices coated by Wild sage seed gum

فیزیکوشیمیایی بادمجان سرخ‌شده را در شرایط مختلف و تیمارهای مختلف پیش‌بینی نمود. به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت<sup>۱</sup> بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری

هدف از فرآیند آموزش سیستم الگوریتم ژنتیک - 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 سیستم شبکه عصبی دارای ۳ نرون در لایه پنهان آورده شده است. با استفاده از این داده‌ها می‌توان خصوصیات

1- Sensitivity analysis results



دمای سرخ‌کن بیشترین تأثیر را بر شاخص روشنایی نمونه‌های سرخ‌شده داشت. شاخص‌های قرمزی و زردی نمونه‌ها هم بعد از شاخص روشنایی، تأثیرپذیری زیادی از تغییر دمای سرخ‌کن داشتند. بر اساس نتایج به دست آمده از آنالیز حساسیت، تغییر دمای سرخ‌کن کمترین تأثیر را بر درصد روغن و مقدار رطوبت برش‌های بادمجان سرخ‌شده داشت.

که در شکل ۵ مشاهده می‌شود تغییر غلظت صمغ دانه مرو بیشترین تأثیر را بر محتوای رطوبت و سپس بر روی مقدار روغن برش‌های بادمجان سرخ‌شده دارد. همچنین شاخص زردی نمونه‌های سرخ‌شده بادمجان هم کمترین تأثیر را از تغییر غلظت صمغ دانه مرو پذیرفت. اثر تغییر دما بر خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی بادمجان سرخ‌شده نیز در این مشاهده می‌شود. تغییر

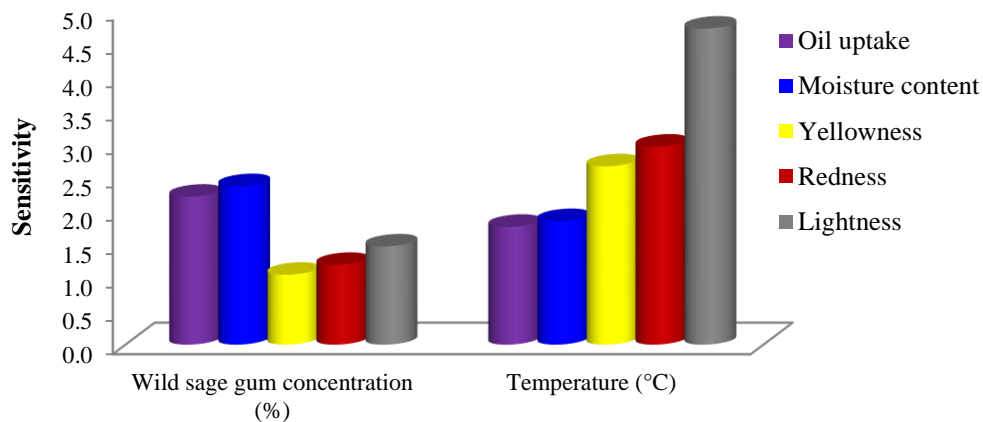
جدول ۳- مقادیر وزن و بایاس سیستم الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده

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

Hidden neurons	Bias	Input neurons		Output neurons				
		Gum concentration	Temperature	Oil uptake	Moisture content	Yellowness	Redness	Lightness
1	-2.6958	11.2798	-15.9489	-0.7168	-1.1765	-6.2730	0.7199	1.0941
2	8.1843	8.1802	-15.6699	6.2815	-0.2333	3.1937	3.9205	-4.0102
3	-0.1331	8.4815	1.3616	-0.5402	7.8169	1.4798	2.6156	-0.0181
Bias				6.1624	-6.2303	-5.5913	-5.9426	-2.0682

پیش‌بینی نماید. نتایج آزمون آنالیز حساسیت این پژوهش هم نشان داد که تغییر غلظت صمغ دانه مرو بیشترین تأثیر را بر شاخص زردی و سپس بر روی شاخص شدت تغییرات رنگ سطحی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده دارد. همچنین تغییر دمای سرخ‌کن نیز بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های شدت تغییرات رنگ و روشنایی نمونه‌های سرخ‌شده دارد.

صالحی و همکاران (۱۴۰۰) از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی اثرات پوشش‌دهی با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو بر خصوصیات برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده استفاده کردند. این پژوهشگران گزارش کردند که شبکه‌ای با تعداد ۵ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی می‌تواند خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی برش‌های سرخ‌شده کدوخورشتی را



شکل ۵- نتایج آنالیز حساسیت برای خصوصیات برش‌های بادمجان سرخ‌شده پوشش داده‌شده با صمغ دانه مرو

Figure 5- Sensitivity analysis results for characteristics of fried eggplant slices coated by Wild sage seed gum

**نتیجه‌گیری**

کنترل شرایط سرخ‌کردن و استفاده از پوشش‌های هیدروکلوئیدی خوراکی یکی از روش‌های مناسب برای کاهش جذب روغن، حفظ رطوبت و بهبود خصوصیات ظاهری مواد غذایی سرخ‌شده مانند بادمجان است. در این پژوهش از غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو جهت پوشش‌دهی برش‌های بادمجان هنگام سرخ شدن عمیق در دماهای مختلف استفاده گردید و تغییر درصد روغن و مقدار رطوبت نمونه‌های سرخ‌شده بررسی و مدل‌سازی گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو باعث کاهش جذب روغن محصول نهایی شد. پیش تیمار پوشش‌دهی باعث حفظ

رطوبت محصول نهایی شد و رطوبت نمونه پوشش داده‌شده با ۱/۵ درصد صمغ از سایر نمونه‌ها بیشتر بود. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۳ نرون در لایه پنهان می‌تواند به خوبی خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده بدون پوشش و پوشش داده‌شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو را پیش‌بینی نماید. تغییر غلظت صمغ دانه مرو بیشترین تأثیر را بر محتوای رطوبت برش‌های بادمجان سرخ‌شده داشت. تغییر دمای سرخ‌کن نیز بیشترین تأثیر را بر شاخص روشنایی نمونه‌های سرخ‌شده داشت.

**منابع مورد استفاده**

- اسدنهال م، صالحی ف و رسولی م، ۱۴۰۱، اثر پوشش‌دهی با صمغ گزانتان بر تغییر شاخص‌های رنگ و سطح برش بادمجان سرخ شده، پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۲(۱)، ۷۹-۹۱.
- خاکباز حشمتی م، پزشکی ا، ناصری ن و جعفرزاده‌مقدم م، ۱۳۹۹، اثر فرایند سرخ‌کردن بر ویژگی‌های اکسیداتیو و حرارتی فرمولاسیون بهینه روغن کنجد و هسته انگور، پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۰(۴)، ۲۷-۳۸.
- صالحی ف، ۱۳۹۸، مدل‌سازی افت وزن زردآلو طی خشک‌کردن با خشک‌کن فرسرخ به روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی، پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۹(۱)، ۵۵-۶۹.
- صالحی ف، ۱۳۹۸، بررسی انتقال حرارت و مدل‌سازی سینتیک تغییرات رنگ در طی فرآیند سرخ کردن بادمجان، پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۹(۲)، ۱۴۹-۱۳۷.
- صالحی ف، روستایی ا و حاصلی ع، ۱۴۰۰، پیش‌بینی اثرات پوشش‌دهی با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو بر خصوصیات برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده در دماهای مختلف با روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی، علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۱۵(۱)، ۱۹۱-۱۸۱.
- Amini G, Salehi F, Rasouli M, 2021. Drying kinetics of basil seed mucilage in an infrared dryer: Application of GA-ANN and ANFIS for the prediction of drying time and moisture ratio. *Journal of Food Processing and Preservation* 45(3): e15258.
- Bouaziz F, Koubaa M, Neifar M, Zouari-Ellouzi S, Besbes S, Chaari F, Kamoun A, Chaabouni M, Chaabouni SE, Ghorbel RE, 2016. Feasibility of using almond gum as coating agent to improve the quality of fried potato chips: Evaluation of sensorial properties. *LWT - Food Science and Technology* 65: 800-807.
- Gohari Ardabili A, Aghajani N, Daraei Garmakhany A, 2021. Response surface optimization of low fat fried zucchini slices production conditions (Balangu seed gum concentration, frying time and temperature). *Food science and technology* 17(109): 129-142.
- Hosseini Z, 2006. *Common Methods in Food Analysis*. Shiraz University Pub.
- Ignat A, Manzocco L, Brunton NP, Nicoli MC, Lyng JG, 2015. The effect of pulsed electric field pre-treatments prior to deep-fat frying on quality aspects of potato fries. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 29: 65-69.

- Jorjani S, Hamrahi V, 2015. Effect of Guar and xanthan hydrocolloids on uptake of oil in eggplant rings during deep frying. *Journal of Food Research* 25(2): 231-238.
- Khazaei N, Esmaili M, Emam-Djomeh Z, 2016. Effect of active edible coatings made by basil seed gum and thymol on oil uptake and oxidation in shrimp during deep-fat frying. *Carbohydrate Polymers* 137: 249-254.
- Kurek M, Ščetar M, Galić K, 2017. Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review. *Food Hydrocolloids* 71: 225-235.
- Maghsouzadeh R, Jalilzadeh A, 2020. Bamieh production with the use of whey protein coating and evaluating its qualitative characteristics during storage. *Journal of Food Research* 29(4): 59-69.
- Ramzi M, Kashaninejad M, Salehi F, Sadeghi Mahoonak AR, Ali Razavi SM, 2015. Modeling of rheological behavior of honey using genetic algorithm–artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Food Bioscience* 9: 60-67.
- Salehi F, 2018. Color changes kinetics during deep fat frying of carrot slice. *Heat and Mass Transfer* 54(11): 3421-3426.
- Salehi F, 2020a. Effect of coatings made by new hydrocolloids on the oil uptake during deep-fat frying: A review. *Journal of Food Processing and Preservation* 44(11): e14879.
- 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.



Journal of Food Research, 2022,32(2):59-71  
<https://foodresearch.tabrizu.ac.ir>

OPEN ACCESS

© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran  
This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

DOI: 10.22034/FR.2022.44523.1787

## Experimental investigation and modeling of wild sage seed gum coating effect on the fried eggplant slices characteristics at different temperature

F Salehi<sup>1\*</sup> and M Asadnahal<sup>2</sup>

Received: February 14, 2021

Accepted: June 9, 2021

<sup>1</sup>Associate Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup>MSc Student, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

\*Corresponding author, Email: F.Salehi@Basu.ac.ir

**Introduction:** Fried food products are very popular due to their unique characteristics such as color, smell, taste and desirable texture. During the frying process, food is immersed in an oil bath at a temperature above the boiling point of water. This results in counter flow of water vapour (bubbles) and oil at the surface of the product. Colour changes measured may be used to predict both chemical and quality changes in a food. The colour parameters have previously proved valuable in describing visual colour deterioration and providing useful information for quality control in fruits and fruit products. The oil uptake problem associated with fried products can be decreased by using hydrocolloids as edible coating. Also, the sensorial examination results showed that the coated products with gums have total acceptability better than the uncoated samples. Using of hydrocolloids (gums) to decrease the oil uptake during deep-fat frying is one of the easy and most convenient way which does not needs changes in frying devises (Khazaei et al 2016; Salehi 2020a). The term “gum” is used to explain a group of naturally occurring polysaccharides. Gums have a good functional characteristic such as emulsifying, coating agents, packaging films, gelling, stabilizers, solubility and textural improvement. Gums influence on the gelatinization and retrogradation of starch and decreased the retrogradation of starch. Wild sage seed mucilage is a gum extracted from wild sage (*Salvia macrosiphon* L.) seeds. The performance of artificial neural networks (ANN) was reported by some researcher. They reported that these approaches are able to estimated characteristics of various fruits and vegetables with high precision. It has been shown that nonlinear approaches based on ANN are far better in generalization and estimation in comparison to empirical models. Determination of the best number of neurons in hidden layers of ANN models is generally carry out by trial and error. The genetic algorithm optimization method can be used to overcome this inherent limitation of ANN. Genetic algorithm is the search technique for optimal value, mimicking the mechanism of biological evolution. It has a high capability to find the optimum value of a complex objective function, without falling into local optima (Salehi 2020b; Amini et al 2021).

**Material and methods:** The cleaned wild sage seeds were firstly soaked in water at a seed/water a portion of 1:20, 25°C, and for 20 min. The mucilage extract was separated from the swollen wild sage seeds by passing the seeds through an extractor. Controlling frying conditions and using edible hydrocolloid coatings (gums) is one of the best ways in reduction of oil uptake, moisture retention and improving the appearance properties of fried foods. In this study, different concentrations of

wild sage seed gum (0, 0.5, 1 and 1.5%) were used to coating of eggplant slices during deep frying at 150, 175 and 200°C and the relationship between process parameters and the quality of final product were modeled by genetic algorithm-artificial neural network method. To examine the changes in colour indexes including lightness ( $L^*$ ), redness ( $a^*$ ) and yellowness ( $b^*$ ), images were taken after the frying. In order to investigate the effect of frying temperature and wild sage seed gum concentration on the colour changes of fried eggplant, a computer vision system was used. Sample illumination was achieved with HP Scanner (Hp Scanjet 300). Neurosolution software (version 5, NeuroDimension, Inc., USA) was employed for making the GA-ANN model. In the hidden layers and output layer a sigmoid activation function was used (due to the highest r-values in comparison to the other functions, hyperbolic tangent and a linear). The Levenberg–Marquardt (LM) optimization method was applied to network training. The crossover probability and the mutation probability operators were adjusted equal to 0.9 and 0.01, respectively. Also, a sensitivity analysis was done to supply the measure of relative significance between the inputs of the ANN model and to show how the model output changed in response to input changes.

**Results and discussion:** The results of this study showed that coating with wild sage seed gum reduced the oil uptake of the final product. Coating pretreatment maintained the final product moisture and moisture content of the sample coated with 1.5% wild sage seed gum was higher than the other samples. This process was modeled by genetic algorithm-artificial neural network method with 2 inputs include wild sage seed gum concentration and frying temperature and 5 outputs includes oil percentage, moisture content, and three main color indexes (yellowness ( $b^*$ ), redness ( $a^*$ ), and lightness ( $L^*$ )). The results of modeling showed that a network with 3 neurons in a hidden layer and using the sigmoid activation function can predict the physicochemical properties of fried eggplant slices.

**Conclusion:** Wild sage seed gum concentration and oil temperature are the process parameters which affect the parameters of eggplant slices during frying. Sensitivity analysis results showed that the changes in the concentration of wild sage seed gum had the highest effect on the moisture content and then on the oil content of fried eggplant slices. Also, the change of frying temperature has the highest effect on the lightness index of fried samples.

**Keywords:** Coating, Eggplant slices, Frying, Sigmoid activation function, Wild sage seed gum