



پیش‌بینی اثرات پوشش‌دهی با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو بر خصوصیات برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده در دماهای مختلف با روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

فخرالدین صالحی^{۱*}، امیررضا روستایی^۲، علیرضا حاصلی^۲

۱- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- دانشجوی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵

کلمات کلیدی:

تغییرات رنگ،

سرخ کردن،

شاخص روشنایی،

شاخص زردی،

شاخص قرمزی،

صمغ دانه مرو.

DOI: 10.29252/fsct.18.06.14

*مسئول مکاتبات:

F.Salehi@Basu.ac.ir

محصولات غذایی سرخ‌شده با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد مانند رنگ، بو، طعم و بافت مطلوب بسیار مورد توجه می‌باشند. کنترل شرایط سرخ کردن و استفاده از پوشش‌های هیدروکلوئیدی خوراکی (صمغ‌ها) یکی از روش‌های مناسب برای کاهش جذب روغن، حفظ رطوبت و بهبود خصوصیات ظاهری مواد غذایی سرخ‌شده است. در این پژوهش از غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) جهت پوشش‌دهی برش‌های کدوخورشتی هنگام سرخ شدن عمیق در دماهای ۱۵۵، ۱۷۰ و ۱۸۵ درجه سلسیوس استفاده گردید و رابطه بین پارامترهای فرآیند و خصوصیات محصول نهایی به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو باعث کاهش جذب روغن محصول نهایی شده و از نظر ویژگی‌های ظاهری، نمونه‌های پوشش داده شده روشتر بودند. پیش تیمار پوشش‌دهی باعث حفظ رطوبت محصول نهایی شد و اندازه نمونه‌های پوشش داده شده با ۱/۵ درصد صمغ از سایر نمونه‌ها بزرگتر بود (درصد تغییرات سطحی کمتر). این فرآیند توسط روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی با ۲ ورودی شامل غلظت صمغ دانه مرو و دمای سرخ‌کن و ۷ خروجی شامل درصد روغن، مقدار رطوبت، شاخص زردی (b^*)، شاخص قرمزی (a^*)، شاخص روشنایی (L^*)، شدت تغییرات رنگ (ΔE) و تغییرات سطح مدل‌سازی شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۵ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی می‌تواند خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های سرخ‌شده کدوخورشتی را پیش‌بینی نماید. نتایج آنتالیز حساسیت 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.

۱- مقدمه

محصولات سرخ‌شده به سبب طعم و مزه خاص و احساس دهانی مطلوب، از محبوبیت بالایی در بین افراد جامعه برخوردار هستند اما در مقابل حاوی مقدار زیادی روغن می‌باشند. در دهه‌های اخیر تلاش برای بررسی مکانیسم جذب روغن و کاهش آن در محصولات سرخ‌شده افزایش یافته است. کدوخورشتی^۱ (*Cucurbita pepo var. cylindrica*) به صورت خام و یا سرخ‌شده در تهیه انواع غذاها شامل انواع خورشت، آش و سوپ به عنوان یک ترکیب و چاشنی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱، ۲].

اکثر مواد غذایی که به صورت سرخ‌شده مصرف می‌شوند هنگام سرخ شدن در روغن‌های خوراکی مقدار زیادی روغن جذب خود می‌کنند. جهت بهبود خصوصیات ظاهری و کاهش روغن جذب شده توسط مواد غذایی سرخ شدن مانند کدوخورشتی می‌توان آنها را توسط هیدروکلونیدها (صمغ‌ها) پوشش‌دهی کرد. محصولات سرخ‌شده 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 [۳-۷]. برخی از محققان گزارش کرده‌اند که استفاده از پوشش‌های خوراکی تهیه شده از صمغ‌ها در کاهش میزان جذب روغن در طی فرآیند سرخ کردن عمیق محصولات غذایی سرخ‌شده مؤثر است. گوهری‌اردبیلی و همکاران (۲۰۲۱) اثر غلظت‌های مختلف صمغ دانه بالنگو به عنوان پوشش در سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی-حجمی)، دما (۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سلسیوس) و زمان سرخ کردن (۲، ۴ و ۶ دقیقه) بر خواص کیفی و ویژگی‌های حسی ورقه‌های کدوسبز سرخ‌شده را بررسی و با استفاده از روش سطح پاسخ بهینه یابی نمودند [۲]. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش غلظت صمغ در پوشش، اتلاف رطوبت و میزان جذب روغن فرآورده کاهش یافته اما با افزایش زمان و دمای سرخ کردن، میزان رطوبت محصول کاهش و جذب روغن نمونه‌ها افزایش یافت است. تأثیر هیدروکلونیدهای گوار و گزانتان بر کاهش جذب روغن در فرآیند سرخ کردن بادمجان توسط جرجانی و همراهی (۲۰۱۵) بررسی شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش‌دهی حلقه‌های بادمجان با مواد هیدروکلونیدی منجر به کاهش جذب روغن در محصول نهایی می‌شود. بیشترین مقدار کاهش روغن به ترتیب مربوط به بادمجان‌های

پوشش داده شده با صمغ گزانتان ۱ و ۰/۵ درصد و کمترین مقدار کاهش روغن در گوار ۰/۵ درصد گزارش شده است. همچنین نمونه‌های پوشش داده شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد میزان رطوبت بالاتری داشتند [۳]. ارزیابی تأثیر پوشش‌دهی با متیل سلولوز، پکتین و مخلوط متیل سلولوز-پکتین و همچنین شرایط سرخ کردن (سه دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سلسیوس و شش زمان ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ دقیقه) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی فلافل سرخ‌شده (محتوی رطوبت و روغن و ویژگی‌های رنگ، سفتی و حجم فلافل) به روش عمیق توسط حسن‌پور و همکاران (۲۰۱۵) بررسی شده است [۸]. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش زمان سرخ کردن محتوی رطوبت کاهش ولی میزان روغن، تغییرات کلی رنگ، سفتی و حجم افزایش یافته است. همچنین با افزایش دمای سرخ کردن روند کاهش محتوی رطوبت کاهش یافته و از میزان جذب روغن نیز کاسته شد. بیشترین میزان جذب روغن در نمونه شاهد و کمترین میزان آن در نمونه‌های پوشش داده شده با مخلوط متیل سلولوز-پکتین گزارش شده است.

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)^۲ 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^۳ 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 انتخاب^۴، آمیزش^۵ و جهش^۶ که در مورد سیستم‌های مصنوعی بکار می‌روند می‌باشد [۹، ۱۰].

صمغ دانه مرو (*Salvia macrosiphon* L.) از جمله هیدروکلونیدهای گیاهی است که بدون افزودن هر گونه حلال

2. Artificial Neural Network (ANN)
3. Genetic Algorithm(GA)
4. Selection
5. Crossover
6. Mutation

1. Zucchini

و پوشش داده شده توسط غلظت‌های مختلف صمغ‌دانه مرو تقسیم شدند. ابتدا درون بشر به صورت جداگانه محلول‌هایی با غلظت ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی از صمغ خشک شده تهیه شد. سپس برای پوشش‌دهی، نمونه‌های برش خورده کدوخورشتی به مدت ۱ دقیقه درون محلول‌های تهیه شده از صمغ قرار گرفتند.

۲-۳- فرآیند سرخ کردن

برش‌های کدوخورشتی بلافاصله پس از برش و پوشش‌دهی، جهت سرخ کردن در سه سطح دمای ۱۵۵، ۱۷۰ و ۱۸۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. جهت سرخ کردن عمیق از روغن مخصوص سرخ کردن (بهار، ایران) و سرخ‌کن خانگی دلموتی استفاده شد. جهت کنترل دمای سرخ‌کن از دماسنج دیجیتالی تماسی دو کاناله لوترون^۱ (تایوان) با دامنه دمایی ۵۰- تا ۱۲۳۰ درجه سلسیوس ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) و ترموکوپل دمایی نوع K با ضخامت یک میلی‌متر استفاده گردید. زمان سرخ کردن 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^۲ با دقت ± 0.01 گرم، ثبت گردید. مقدار ماده جامد و رطوبت برش‌های تازه و سرخ‌شده کدوخورشتی با استفاده از آون (شیماز، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و در مدت زمان ۵ ساعت اندازه‌گیری شد (با استفاده از رابطه ۱) [۱۳]. میانگین رطوبت برش‌های تازه کدوخورشتی ۹۳ درصد بود. درصد روغن نمونه‌های سرخ‌شده از کسر ماده جامد برش‌های تازه کدوخورشتی از مقدار ماده جامد برش‌های سرخ‌شده، تقسیم بر وزن محصول سرخ‌شده ضرب در ۱۰۰ به دست آمد (با استفاده از رابطه ۲).

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

در این رابطه، MC: مقدار رطوبت^۳ (درصد)، M_1 : جرم نمونه قبل از قرارگیری در آون (گرم) و M_2 : جرم نمونه بعد از خروج از آون (گرم) است.

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

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 پوشش‌دهی انواع محصولات کشاورزی به‌عنوان پوشش خوراکی قبل از فرآیند سرخ کردن استفاده کرد [۱۱]. با توجه به مزایای ذکر شده برای پوشش‌دهی محصولات غذایی قبل از فرآیند سرخ کردن، پیش‌بینی اثرات پوشش‌دهی با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو بر خصوصیات کدوخورشتی سرخ‌شده عمیق ضروری می‌باشد. لذا هدف این تحقیق بررسی و مدل‌سازی اثر غلظت صمغ دانه مرو (در چهار سطح ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) و دمای سرخ‌کن (در سه سطح ۱۵۵، ۱۷۰ و ۱۸۵ درجه سلسیوس) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده (شامل درصد روغن، مقدار رطوبت، زردی، قرمزی، روشنایی، شدت تغییرات رنگ و تغییرات سطح) به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه پوشش‌های صمغ دانه مرو

در این پژوهش دانه‌های مرو از استان همدان تهیه و ناخالصی آن‌ها کاملاً جداسازی گردید. جهت استخراج موسیلاژ، 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. سپس جهت جدا کردن صمغ خارج شده از دانه‌ها، از دستگاه آبمیوه‌گیری استفاده شد [۱۲]. موسیلاژ تهیه شده در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک و سپس توسط 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 (شیماز، ایران) استفاده شد.

۲-۲- فرآیند پوشش‌دهی

برای انجام آزمایش‌ها، نمونه‌های کدوخورشتی با اندازه متوسط و یک شکل از استان همدان تهیه گردید. برای انجام فرآیند سرخ کردن ابتدا کدوخورشتی به قطعاتی به شکل استوانه با ضخامت ۱ سانتی‌متر و قطر ۳/۳۵ سانتی‌متر توسط قالب فلزی تیز برش داده شدند. نمونه‌ها به دو گروه شاهد (بدون پوشش)

1. Lutron, TM-916
2. Digital balance, LutronGM-300p (Taiwan)
3. Moisture content (MC)

عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیشخور انجام پذیرفت (شکل ۱). در این روش خروجی نرون‌های لایه پنهان و خروجی (y) از طریق افزایش بایاس^۳ به مجموع ورودی‌های وزن‌دار شده با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$Y_j = \sum_{i=1}^p f(W_{ij}X_i + b_j) \quad (5)$$

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 دو ورودی (غلظت صمغ دانه مرو و دمای سرخ‌کن) و هفت خروجی (درصد روغن، مقدار رطوبت، شاخص زردی (b^*)، شاخص قرمزی (a^*)، شاخص روشنایی (L^*))، شدت تغییرات رنگ (ΔE) و تغییرات سطح) در نظر گرفته شد. 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^۴ (نسخه ۵)، ۰/۹ و ۰/۰۱؛ و تعداد نرون‌ها جهت بهینه‌سازی ۱ تا ۳۰ عدد در نظر گرفته شد. از توابع فعال‌سازی^۵ خطی، سیگموئیدی^۶ و تانژانت هیپربولیک^۷ 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 لونیگ-مارکواریت^۸، بهترین ساختار^۹ شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد. به‌منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده‌شده پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی^{۱۰} استفاده گردید [۱۵].

در این رابطه، OU: روغن جذب شده^۱ (درصد)، TS₂: ماده جامد برش‌های سرخ‌شده (گرم)، TS₁: ماده جامد برش‌های تازه (گرم) و M₁: جرم نمونه سرخ‌شده کدوخورشتی (گرم) است.

۲-۴- بررسی تغییرات رنگ سطحی

جهت بررسی تغییرات رنگ و سطح نمونه‌ها، از روش پردازش تصویر استفاده گردید. از نمونه‌های تازه و سرخ‌شده عکس در فرمت JPG تهیه و بعد از تبدیل به فرمت $L^*a^*b^*$ توسط نرم‌افزار Image J (Image J software version 1.42e, USA)، شاخص‌های رنگی آنها شامل L^* ، a^* ، b^* و ΔE محاسبه و گزارش شد. در این روش از یک اسکنر اچ‌پی^۲ جهت تصویربرداری استفاده گردید. مقادیر تغییر رنگ (ΔE) در مقایسه با نمونه تازه، با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد [۱۴].

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^*{}^2 + \Delta a^*{}^2 + \Delta b^*{}^2} \quad (3)$$

درصد تغییر اندازه سطح برش‌های کدوخورشتی که معیاری از چروکیدگی و کاهش سطح محصول در طی سرخ کردن می‌باشد نیز با استفاده از روش پردازش تصویر و رابطه ۴ محاسبه و گزارش شد.

$$\Delta A = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100 \quad (4)$$

در این رابطه، A_1 : سطح نمونه تازه (سانتی‌متر مربع) و A_2 : سطح نمونه سرخ‌شده (سانتی‌متر مربع) است. تجزیه و تحلیل آماری در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت. مقایسه میانگین در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد.

۲-۵- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌سازی فرایندهای مرتبط با صنایع غذایی برای طراحی و بهبود سیستم‌های موجود و حتی کنترل فرآیند انجام می‌شود. مدل‌سازی فرآیند سرخ‌کردن برش‌های کدوخورشتی پوشش داده شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو در دماهای ۱۵۵، ۱۷۰ و ۱۸۵ درجه سلسیوس به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه

3. Bias
4. Neurosolution software (Excel software release 6.0), NeuroDimension, Inc., USA
5. Activation function
6. Sigmoid functions
7. Hyperbolic tangent function
8. Levenberg-Marquardt (LM)
9. Topology
10. Correlation coefficient (r)

1. Oil uptake (OU)
2. Hp Scanjet 300, China

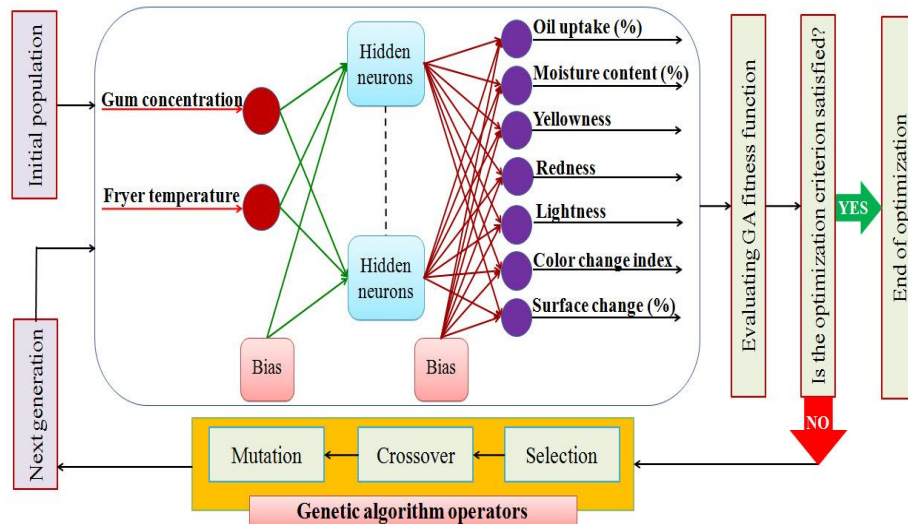


Fig 1 Schematic of frying process modeling of coated zucchini slices using genetic algorithm-artificial neural network

است. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از مخلوط صمغ کربوکسی متیل سلولز و موسیلاژ بامیه در سطح ۱ درصد، علاوه بر باعث کاهش مقدار روغن سیبزمینی سرخ‌شده، باعث تولید محصولی با کیفیت بالاتر می‌شود. همچنین خصوصیات رنگی سیبزمینی سرخ‌شده حاوی پوشش صمغ کربوکسی متیل سلولز در مقایسه با خلل‌های بدون پوشش و حاوی موسیلاژ بامیه بهتر بود [۱۷].

فرآیند سرخ کردن از فرآیندهای پیچیده به دلیل انتقال همزمان حرارت و جرم است 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. رنگ از مهم‌ترین شاخصه‌های کیفی مواد غذایی است که حتی قبل از مصرف ماده غذایی مورد توجه قرار می‌گیرد [۱۸]. از نظر شاخص‌های رنگی زردی، قرمزی و روشنایی نیز پوشش‌دهی باعث تغییر این خصوصیات گردید ($P < 0.05$) و بین نمونه‌های پوشش داده شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو نیز از نظر شاخص زردی و روشنایی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0.05$). در مجموع با پوشش‌دهی برش‌های کدوخورشتی تازه، بعد از فرآیند سرخ کردن محصولی با زردی کمتر (کاهش شاخص زردی)، با قرمزی کمتر (کاهش شاخص قرمزی، نمایانگر قهوه‌ای شدن سطحی کمتر) و در نهایت ظاهری روشنتر (افزایش شاخص روشنایی) به دست می‌آید.

به‌طورکلی برش‌های روشن و طلایی محصولات سرخ‌شده نسبت به رنگ تیره ترجیح داده می‌شوند. قندهای احیاکننده تحت تأثیر حرارت با پروتئین و اسیدآمین‌های آزاد، طی

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات برش‌های کدوخورشتی

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 سرخ کردن و استفاده از پوشش‌های خوراکی می‌تواند به بهبود ویژگی‌های ظاهری و رنگ محصول نهایی کمک کند [۱۶]. در جدول ۱ اثر غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو بر خصوصیات برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده شامل درصد روغن، مقدار رطوبت، زردی، قرمزی، روشنایی، شدت تغییرات رنگ و تغییرات سطح پوشش‌دهی با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو باعث کاهش جذب روغن شده است ($P < 0.05$) اما بین غلظت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ($P > 0.05$) و کمترین جذب روغن مربوط به نمونه پوشش داده شده با ۱/۵ درصد صمغ دانه مرو است. در رابطه با مقدار رطوبت نمونه‌های سرخ‌شده هم رفتار مشابهی مشاهده شد. پوشش‌دهی باعث افزایش محتوای رطوبت نمونه‌ها گردید ($P < 0.05$) اما بین نمونه‌های پوشش داده شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). تأثیر پوشش‌های صمغ کربوکسی متیل سلولز و موسیلاژ بامیه بر میزان جذب روغن و خواص فیزیکوشیمیایی سیبزمینی سرخ‌شده توسط اشرفی یورقانلو و غیبی (۲۰۱۹) بررسی شده

بودند (شاخص L^* بالاتر) و به‌طور قابل‌توجهی زردتر از نمونه‌های بدون پوشش بودند. مقدار روشنایی (L^*) برای نمونه‌های بدون پوشش ۵۸/۲ بود، درحالی‌که برای نمونه‌های سرخ‌شده با صمغ‌های بادام و عربی به ترتیب برابر ۸۸/۳ و ۸۷/۵ بود.

شاخص تغییرات سطح معیاری از تغییر سطح نمونه بعد از فرآیند سرخ کردن است و نشان دهنده چروکیدگی محصول و مقدار جمع شدن آن بعد از فرآیند نیز می‌باشد. شدت تغییرات سطح برش‌های کدوخورشتی به غلظت صمغ دانه مرو استفاده شده به‌عنوان تیمار پوشش‌دهی وابسته بود و با افزایش غلظت صمغ، مقدار این شاخص کاهش یافت ($P < 0.05$)؛ یعنی نمونه‌های پوشش داده شده با صمغ دانه مرو نسبت به نمونه شاهد اندازه بزرگتری داشتند و تغییرات سطح در آنها حداقل بود. بیشترین مقدار این شاخص (۳۳/۱۳) مربوط به نمونه بدون پوشش و کمترین مقدار این شاخص (۲۷/۹۷) مربوط به نمونه پوشش داده شده با ۱/۵ درصد صمغ دانه مرو بود ($P < 0.05$).

واکنش مایلارد، ایجاد رنگ‌دانه و طعم می‌کنند [۱۹]. براساس شاخص شدت تغییرات رنگ، بیشترین تغییر رنگ نسبت به برش‌های تازه مربوط به نمونه بدون پوشش (۵۸/۲۳) و کمترین مقدار این شاخص (۴۷/۴۱) هم مربوط به نمونه پوشش داده شده با ۱/۵ درصد صمغ دانه مرو بود. پتانسیل استفاده از صمغ بادام (۲۰-۲۰ گرم در لیتر) به‌عنوان یک عامل پوشش‌دهنده برای بهبود کیفیت و خصوصیات حسی چیپس سیب‌زمینی سرخ‌شده توسط بوازیز و همکاران (۲۰۱۶) بررسی شد [۲۰]. نتایج آنها نشان داد که افزایش سطح صمغ بادام تا ۲۰ گرم در لیتر باعث کاهش ۳۴ درصدی در جذب روغن و افزایش ۲۹/۵ درصدی در رطوبت چیپس‌ها می‌شود. شرایط بهینه برای پوشش‌دهی و سرخ کردن با روش سطح پاسخ به دست آمد و این شرایط در پوشش‌دهی با صمغ بادام با غلظت ۲۰ گرم در لیتر در دمای سرخ کردن ۱۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۵ ثانیه حاصل می‌شد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که چیپس‌های سیب‌زمینی پوشش داده شده با صمغ بادام از نمونه‌های بدون پوشش، پذیرش کلی بهتری دارند. چیپس‌های پوشش داده شده به‌طور قابل‌توجهی دارای رنگ روشنتری

Table 1 Effect of Wild sage seed gum coatings on the physicochemical characteristics of fried zucchini slices.

Mucilage concentration	Oil uptake (%)	Moisture content (%)
0.0	8.97 ^a	83.93 ^b
0.5	7.03 ^b	85.70 ^{ab}
1.0	7.15 ^b	85.71 ^{ab}
1.5	7.00 ^b	86.18 ^a

Means with different superscripts in same column differ significantly ($P < 0.05$).

تغییرات سطح به‌عنوان خروجی‌های شبکه انتخاب گردیدند. 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 وخطا مشخص شد در صورتی که ۵۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد (جدول ۲). ۱۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها

۳-۲- نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه

عصبی مصنوعی

به‌منظور پیش‌بینی خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده شامل درصد روغن، مقدار رطوبت، زردی، قرمزی، روشنایی، شدت تغییرات رنگ و تغییرات سطح از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. غلظت صمغ دانه مرو و دمای سرخ‌کن به‌عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و درصد روغن، مقدار رطوبت، زردی، قرمزی، روشنایی، شدت تغییرات رنگ و

سرخ‌شده بدون پوشش و پوشش داده شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو را پیش‌بینی نماید (جدول ۳).

(۴۰ درصد) استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۵ نرون در لایه پنهان می‌تواند به‌خوبی خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های کدوخورشتی

Table 2 Optimal values of genetic algorithm-artificial neural network parameters

Number of hidden layers	Learning rule	Type of activation function	The number of hidden layer neurons	Training data%	Validating data%	Testing data%
1	Levenberg–Marquardt	Sigmoid	5	50%	10%	40%

Table 3 The error values in prediction of testing data by optimal genetic algorithm-artificial neural network with 5 neurons in hidden layer

Error	Oil uptake	Moisture content	Yellowness	Redness	Lightness	Color change index	Surface change
Mean squared error	1.196	1.538	6.459	17.971	28.258	24.241	1.332
Normalized Mean squared error	0.221	0.203	0.062	0.255	0.097	0.093	0.084
Mean absolute error	0.707	0.830	1.918	3.442	5.036	4.465	1.063
Correlation coefficient (r)	0.916	0.928	0.970	0.916	0.961	0.956	0.968

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۴۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیشگویی شده درصد روغن، مقدار رطوبت، زردی، قرمزی، روشنایی، شدت تغییرات رنگ و تغییرات سطح برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده توسط شبکه عصبی بهینه (۲/۵/۷) در شکل ۳ نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی برای پارامترهای بررسی شده نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی برای پارامترهای درصد روغن، مقدار رطوبت، زردی، قرمزی، روشنایی، شدت تغییرات رنگ و تغییرات سطح برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده براساس داده‌های پیش‌بینی شده محاسبه شد و این مقادیر در جدول ۳ گزارش شد. میانگین ضریب همبستگی محاسبه شده برای پارامترهای مربوط به خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده برابر ۰/۹۴۵ بود. کمترین مقدار ضریب همبستگی محاسبه شده برای پیش‌بینی پارامترهای درصد روغن و شاخص قرمزی نمونه‌های سرخ‌شده (۰/۹۱۶) و بیشترین مقدار آن مربوط به پارامتر شاخص زردی (۰/۹۷۰) بود.

مقدار میانگین مربعات خطا^۱ در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۲ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همان نسل‌های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل همان نسل‌های اولیه، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد. کاهش سریع در نمودار میانگین مربعات خطا در سیکل‌های اولیه آموزش نشان از یادگیری سریع شبکه می‌باشد که این از ویژگی‌های شناخته شده روش بهینه‌سازی لوبنرگ-مارکوارت می‌باشد.

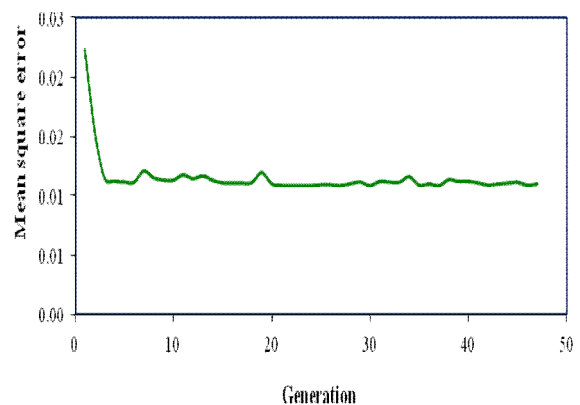


Fig 2 Mean square error (MSE) values (average fitness) versus generation number during the optimization procedure of the genetic algorithm-artificial neural network system.

1. Mean squared error (MSE)

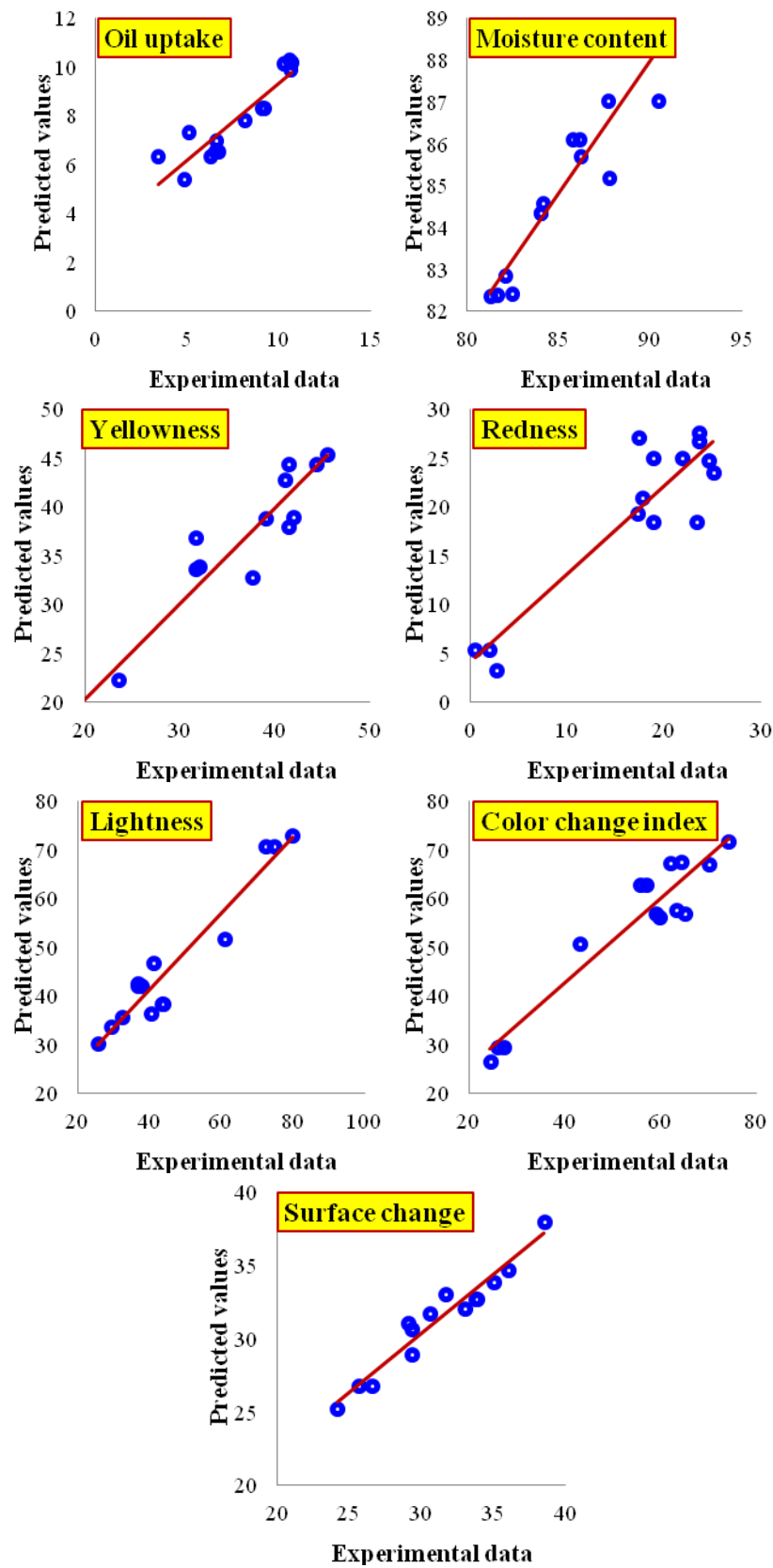


Fig 3 Experimental data versus predicted values for the physicochemical characteristics of fried zucchini slices coated by Wild sage seed gum

آورده شده است. با استفاده از این داده‌ها می‌توان خصوصیات فیزیکوشیمیایی کدوخورشتی سرخ‌شده را در شرایط مختلف و تیمارهای مختلف پیش‌بینی نمود.

هدف از فرآیند آموزش سیستم الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول ۴، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای سیستم شبکه عصبی دارای ۵ نرون در لایه پنهان

Table 4 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	Color change index	Surface change
1	-4.6233	-3.5873	11.0233	-0.2538	-2.5544	1.6371	-0.0311	-0.1915	1.3457	3.1392
2	8.3485	-3.5620	-7.8233	-1.9197	0.2910	1.5728	0.3291	5.2647	-4.2107	-11.8045
3	0.8163	-5.2803	1.9101	-16.4946	-7.9947	-11.9359	8.9913	11.8916	12.6606	5.0758
4	-2.7566	-7.8214	20.3043	7.9180	-7.1554	-9.8089	-10.6383	-5.7507	-8.7298	7.3544
5	0.7116	3.2564	-7.1443	9.6512	10.1455	-2.7736	-2.1094	2.3034	0.9945	-1.8351
Bias				1.9499	-3.5608	11.3773	-2.2887	4.3390	-3.2183	1.6095

به دست آمده از آنالیز حساسیت، تغییر دمای سرخ‌کن کمترین تأثیر را بر درصد روغن و مقدار رطوبت برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده دارد.

۴- نتیجه‌گیری

جهت بهبود خصوصیات ظاهری و کاهش روغن جذب شده توسط مواد غذایی سرخ‌شده مانند کدوخورشتی، آنها را می‌توان توسط هیدروکلونیدها (صمغ‌ها) پوشش‌دهی کرد. علاوه بر درصد روغن کمتر، محصولات سرخ‌شده پوشش داده شده دارای رنگ روشن‌تر، افت رطوبت کمتر، ارزش تغذیه‌ای بالاتر، تخلخل بیشتر و همچنین دارای ویژگی‌های ظاهری، بافتی و مزه بهتری هستند. در این پژوهش از غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو جهت پوشش‌دهی برش‌های کدوخورشتی هنگام سرخ شدن عمیق در دماهای مختلف استفاده گردید و تغییر خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های سرخ‌شده شامل درصد روغن، مقدار رطوبت، زردی، قرمزی، روشنایی، شدت تغییرات رنگ و تغییرات سطح، بررسی و مدل‌سازی گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو باعث کاهش جذب روغن محصول نهایی شده و از نظر ویژگی‌های ظاهری نمونه‌های پوشش داده شده روشنتر بودند. پیش تیمار پوشش‌دهی باعث حفظ رطوبت محصول نهایی شد و اندازه نمونه‌های پوشش داده شده با ۱/۵ درصد صمغ از سایر نمونه‌ها بزرگتر بود. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۵ نرون در لایه پنهان می‌تواند به خوبی خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده بدون پوشش و پوشش داده شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو را پیش‌بینی نماید. تغییر

به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت^۱ بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری که در شکل ۴ مشاهده می‌شود 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 درصد روغن و مقدار رطوبت نمونه‌های سرخ‌شده کدوخورشتی هم کمترین تأثیر را از تغییر غلظت صمغ دانه مرو می‌پذیرد.

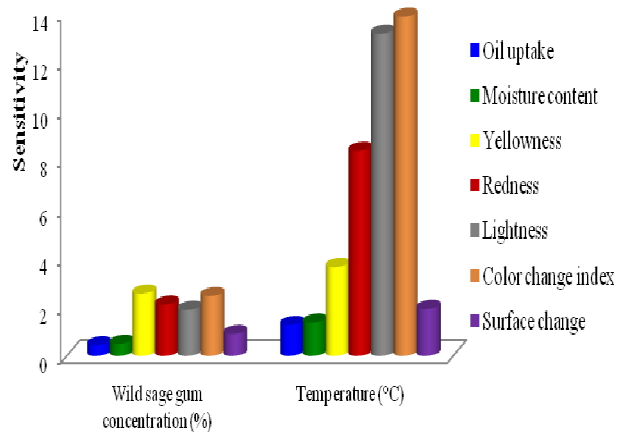


Fig 4 Sensitivity analysis results for physicochemical characteristics of fried zucchini slices coated by Wild sage seed gum.

اثر تغییر دما بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی کدوخورشتی سرخ‌شده نیز در این مشاهده می‌شود. تغییر دمای سرخ‌کن بیشترین تأثیر را بر شاخص شدت تغییرات رنگ سطحی و شاخص روشنایی نمونه‌های سرخ‌شده دارد. شاخص‌های قرمزی و زردی نمونه‌ها هم بعد از شاخص روشنایی، تأثیرپذیری زیادی از تغییر دمای سرخ‌کن دارند. بر اساس نتایج

- [10] Satorabi, M., Salehi, F., Rasouli, M. 2021. The influence of xanthan and balangu seed gums coats on the kinetics of infrared drying of apricot slices: GA-ANN and ANFIS Modeling, *International Journal of Fruit Science*. 21.
- [11] Salehi, F. 2020. Effect of common and new gums on the quality, physical, and textural properties of bakery products: A review, *Journal of Texture Studies*. 51, 361-370.
- [12] Salehi, F. 2017. Rheological and physical properties and quality of the new formulation of apple cake with wild sage seed gum (*Salvia macrosiphon*), *Journal of Food Measurement and Characterization*. 11, 2006-2012.
- [13] Hosseini, Z. 2006. *Common Methods in Food Analysis*, Shiraz University Pub,
- [14] Salehi, F. 2019. Color changes kinetics during deep fat frying of kohlrabi (*Brassica oleracea var. gongylodes*) slice, *International Journal of Food Properties*. 22, 511-519.
- [15] 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, e15258.
- [16] Salehi, F. 2018. Color changes kinetics during deep fat frying of carrot slice, *Heat and Mass Transfer*. 54, 3421-3426.
- [17] Ashrafi Yorganloo, R., Gheybi, N. 2019. Effect of okra mucilage and cmc on the oil uptake and physicochemical properties of french fries during deep-fat frying, *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 50, 203-211.
- [18] Choe, E., Min, D. 2007. Chemistry of deep - fat frying oils, *Journal of Food Science*. 72, 77-86.
- [19] Mestdagh, F., De Wilde, T., Castelein, P., Németh, O., Van Peteghem, C., De Meulenaer, B. 2008. Impact of the reducing sugars on the relationship between acrylamide and Maillard browning in French fries, *European Food Research and Technology*. 227, 69-76.
- [20] Bouaziz, F., Koubaa, M., Neifar, M., Zouari-Ellouzi, S., Besbes, S., Chaari, F., Kamoun, A., Chaabouni, M., Chaabouni, S. E., Ghorbel, R. E. 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.
- غلظت صمغ دانه مرو بیشترین تأثیر را بر شاخص زردی و سپس بر روی شاخص شدت تغییرات رنگ سطحی برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده داشت. تغییر دمای سرخ‌کن نیز بیشترین تأثیر را بر شاخص شدت تغییرات رنگ سطحی و شاخص روشنائی نمونه‌های سرخ‌شده داشت.

۵- منابع

- [1] Abtahi, M. S., Hosseini, H., Fadavi, A., Mirzaei, H., Rahbari, M. 2016. The optimization of the deep-fat frying process of coated zucchini pieces by response surface methodology, *Journal of culinary science & technology*. 14, 176-189.
- [2] 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, 129-142.
- [3] 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, 231-238.
- [4] 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.
- [5] Kurek, M., Ščetar, M., Galić, K. 2017. Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review, *Food Hydrocolloids*. 71, 225-235.
- [6] Salehi, F. 2020. Effect of coatings made by new hydrocolloids on the oil uptake during deep-fat frying: A review, *Journal of Food Processing and Preservation*. 44, e14879.
- [7] Naji Tabasi, S., Mahdian, E. 2017. The investigation of sage seed and persian gum coating effect on oil mass transfer and quality attributes of potato chips, *Research and Innovation in Food Science and Technology*. 6, 171-184.
- [8] Hassan Pour, N., Mohebi, M., Varidi, M. 2015. Evaluation of coating and frying conditions on physicochemical properties of deep fat fried Falafel, *mdrsjrn*. 12, 53-63.
- [9] Salehi, F. 2020. Recent advances in the modeling and predicting quality parameters of fruits and vegetables during postharvest storage: A review, *International Journal of Fruit Science*. 20, 506-520.



Scientific Research

Predicting the effects of coating with different concentrations of wild sage seed gum on the characteristics of fried zucchini slices at various temperature by genetic algorithm-artificial neural network method

Salehi, F. ^{1*}, Roustaei, A. ², Haseli, A. ²

1. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2. Student, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article History:</p> <p>Received 2021/ 02/ 01 Accepted 2021/ 04/ 14</p> <hr/> <p>Keywords:</p> <p>Color changes, Frying, Lightness index, Redness index, Wild sage seed gum, Yellowness index.</p> <hr/> <p>DOI: 10.29252/fsct.18.06.14</p> <hr/> <p>*Corresponding Author E-Mail: F.Salehi@Basu.ac.ir</p>	<p>Fried food products are very popular due to their unique characteristics such as color, smell, taste and desirable texture. 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 zucchini slices during deep frying at 155, 170 and 185°C and the relationship between process parameters and the quality of final product were modeled by genetic algorithm-artificial neural network method. The results of this study showed that coating with wild sage seed gum reduced the oil uptake of the final product and in terms of appearance characteristics, the coated samples were lighter. Coating pretreatment maintained the final product moisture and the size of the samples coated with 1.5% gum was larger than the other samples (lower surface changes percent). This process was modeled by genetic algorithm-artificial neural network method with 2 inputs include wild sage seed gum concentration and frying temperature and 7 outputs include oil percentage, moisture content, yellowness index (b^*), redness index (a^*), lightness index (L^*), color changes intensity (ΔE) and surface changes. The results of modeling showed that a network with 5 neurons in a hidden layer and using the sigmoid activation function can predict the physicochemical properties of fried zucchini slices. Sensitivity analysis results showed that the changes in the concentration of wild sage seed gum had the highest effect on the yellowness index and then on the surface color changes intensity index of fried zucchini slices. Also, the change of frying temperature has the highest effects on the color changes intensity and lightness indexes of fried samples.</p>