مدل‌سازی خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان پوشش داده‌شده با صمغ دانه ریحان طی فرآیند سرخ‌کردن

فخرالدین صالحی [a*]، محمدامین اسدنهال [b]

[a] دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
[b] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۹
https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080123.1400.18.4.1.1

چکیده

مقدمه: محصولات غذایی سرخ‌شده با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد 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.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان (۰/۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی) 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.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش‌دهی با صمغ دانه ریحان 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 (۶۴/۰۵٪). این فرآیند توسط روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی با ۲ ورودی شامل غلظت صمغ دانه ریحان 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 ۴ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک می‌تواند خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های سرخ‌شده بادمجان را پیش‌بینی نماید.

نتیجه‌گیری: پوشش حاوی ۱/۵ درصد صمغ دانه ریحان باعث حفظ رطوبت و کاهش جذب روغن توسط نمونه‌های سرخ‌شده گردید و این پوشش به‌عنوان پوشش خوراکی مناسب برای پوشش‌دهی برش‌های بادمجان قبل از فرآیند سرخ کردن، توصیه می‌شود. نتایج آزمون آنالیز حساسیت نشان داد که تغییر غلظت صمغ دانه ریحان بیشترین تأثیر را بر شاخص روشنایی و سپس بر روی مقدار روغن برش‌های بادمجان سرخ‌شده دارد. همچنین تغییر دمای سرخ‌کن نیز بیشترین تأثیر را بر شاخص روشنایی نمونه‌های سرخ‌شده داشت.

واژه‌های کلیدی: *الگوریتم ژنتیک، تابع تانژانت هیپربولیک، جذب روغن، شاخص روشنایی، شبکه عصبی مصنوعی*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: F.Salehi@Basu.ac.ir

مقدمه

سرخ‌کردن عمیق یکی از روش‌های فرآوری مواد غذای است که در آن ماده غذایی با غوطه‌وری در روغن خوراکی و با حرارتی بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سلسیوس پخته و سرخ می‌شود. در این فرایند انتقال حرارت به‌صورت ترکیبی از همرفت و رسانش صورت می‌گیرد. حرارت از طریق همرفت از روغن به ماده غذایی و از طریق رسانش به درون ماده انتقال می‌یابد. درنتیجه تمام قسمت‌های سطح ماده در معرض حرارت یکسانی قرارگرفته و محصول ظاهر و رنگ یکنواختی خواهد داشت (Ignat *et al.*, 2015). با توجه به مصرف روبه گسترش محصولات غذایی سرخ‌شده و به طبع آن گسترش بیماری‌های گوناگون، دستیابی به روش‌های مناسب جهت کاهش جذب روغن در این محصولات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Naji Tabasi and Mahdian, 2017). می‌توان از پوشش‌های خوراکی مانند هیدروکلوئیدها (صمغ‌ها) برای بهبود خصوصیات ظاهری و کاهش روغن جذب‌شده توسط مواد غذایی سرخ شدن مانند بادمجان استفاده نمود. محصولات سرخ‌شده پوشش داده‌شده 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. همچنین محققان گزارش کرده‌اند که استفاده از پوشش‌های خوراکی تهیه‌شده از صمغ‌ها در کاهش میزان جذب روغن در طی فرآیند سرخ کردن عمیق محصولات غذایی سرخ‌شده مؤثر است (Jorjani and Hamrahi, 2015; Khazaei *et al.*, 2016; Kurek *et al.*, 2017; Naji Tabasi and Mahdian, 2017; Salehi, 2020a). پتانسیل استفاده از صمغ بادام (۲۰-۰ گرم در لیتر) به‌عنوان یک عامل پوشش‌دهنده برای بهبود کیفیت و خصوصیات حسی چیپس سیب‌زمینی سرخ‌شده توسط Bouaziz و همکاران (۲۰۱۶) بررسی شد. 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 داده‌شده با صمغ بادام از نمونه‌های بدون پوشش، پذیرش کلی بهتری دارند. چیپس‌های پوشش داده‌شده به‌طور قابل‌توجهی دارای رنگ روشنتری 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. رنگ سنجی نمونه‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی توسط یادگاری و همکاران (۲۰۲) نشان داد که نمونه شاهد بیشترین شاخص‌های روشنایی و زردی را بین تمامی نمونه‌ها داشت، اما مؤلفه قرمزی در تیمار پوشش داده‌شده با سوسپانسیون ترکیبی صمغ دانه قدومه شیرازی+متیل سلولز با غلظت ۱٪ بیشتر بود (Yadegari *et al.*, 2020). بیشترین مؤلفه روشنایی در بین تیمارهای پوشش داده‌شده متعلق به تیمار پوشش داده‌شده با محلول حاوی متیل سلولز با غلظت ۱/۵ درصد صمغ گزارش شده است. Naji Tabasi و Mahdian (۲۰۱۷) اثر پوشش‌دهی با صمغ مرو و فارسی غلظت‌های ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد بر انتقال جرم روغن و خصوصیات کیفی چیپس را بررسی کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، بیشترین کاهش جذب روغن (۳۱/۲۴ درصد) به نمونه‌های تیمار شده با صمغ مرو ۰/۵ درصد با روش غوطه‌وری اختصاص داشت که نسبت به نمونه شاهد (۳۷/۲۱ درصد) اختلاف معنی‌دار گزارش‌شده است ($P<0.05$). لذا این پژوهشگران پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو در غلظت ۰/۵ درصد به روش غوطه‌وری را به دلیل بیشترین کاهش جذب روغن و خواص حسی مشابه با نمونه شاهد جهت استفاده در صنعت تولید چیپس سیب‌زمینی پیشنهاد کرده‌اند.

تلاش‌های اولیه به‌منظور مدل‌سازی مغز و شبکه عصبی انسان منجر به ارائه مدل‌هایی برای عملکرد یک واحد پردازش مغز یعنی نرون شده است. یک شبکه عصبی مصنوعی (ANN)[1] از ترکیب واحدهایی به نام نرون تشکیل شده است. ورودی این نرون در وزن‌ها[2] ضرب شده و سپس با یک عدد ثابت که بایاس[3] نامیده می‌شود، جمع می‌گردد. سپس از یک تابع غیرخطی عبور می‌کند تا

[1] Artificial Neural Network (ANN) [2] Weights [3] Bias

خروجی ساخته شود. تعداد نرون‌های لایه مخفی یک شبکه عصبی تأثیر بسزایی در عملکرد آن دارد. انتخاب تعداد نرون‌ها در واقع مصالحه‌ای بین همگرایی و قابلیت تعمیم شبکه می‌باشد. تخمین تعداد نرون‌های لایه پنهان عموماً به‌وسیله آزمون‌وخطا انجام می‌شود که وقت‌گیر بوده و دارای خطا می‌باشد. لذا روش‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک[1] (GA) 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 الگوریتم ژنتیک شامل عملگرهای سه‌گانه انتخاب[2]، آمیزش[3] و جهش[4] که در مورد سیستم‌های مصنوعی بکار می‌روند می‌باشد. در فرآیند تکثیر، کروموزوم‌هایی با شایستگی بالا شانس تکرار بیشتر در جمعیت منتخب را پیدا می‌کنند که این کار توسط فرآیند انتخاب صورت می‌پذیرد. پس از تکمیل فرآیند انتخاب، نوبت به اعمال عملگر بر روی جهت منتخب به‌منظور تولید جمعیت فرزندان می‌رسد. در انجام فرآیند پیوند، با انتخاب مقدار ثابت نرخ پیوند، به ترتیب برای هر کروموزوم یک عدد تصادفی تولید می‌شود. اگر عدد تصادفی تولید شده از نرخ پیوند کمتر باشد، این کروموزوم انتخاب می‌شود تا با کروموزوم‌های بعدی که شرایط فوق را دارد، ترکیب شوند. در انجام فرآیند جهش، با انتخاب مقدار ثابت نرخ جهش، برای کلیه بیت‌های کروموزوم‌های جمعیت عدد تصادفی تولید می‌شود. اگر عدد تصادفی تولید شده از نرخ جهش کوچکتر باشد، مقدار آن بیت عوض یعنی مقدار صفر به یک و یا بالعکس تبدیل می‌شود. الگوریتم ژنتیک هنگامی‌که برخی ضوابط مانند تعداد معینی تولید نسل و یا میانگین انحراف معیار عملکرد اشخاص جمعیت تأمین شود، به پایان می‌رسد (Salehi, 2020b; Satorabi *et al.*, 2021). به عنوان مثال Salehi و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی اثر پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو بر خصوصیات برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده را بررسی و سپس خصوصیات نمونه‌های سرخ‌شده را 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 کردند.

هیدروکلوئیدها یا صمغ‌ها بیوپلیمرهای هیدروفیل[5] با وزن مولکولی بالا هستند که در صنایع غذایی برای کنترل و بهبود ویژگی‌های عملکردی فرآورده‌های غذایی به کار می‌روند. هیدروکلوئیدها از منابع مختلفی استخراج می‌شوند که یکی از این منابع دانه گیاهان مختلف است. گیاه ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* از تیره‌ی نعناعیان می‌باشد. این گیاه در بسیاری از نقاط مختلف جهان یافت می‌شود. پوسته رویی دانه‌های این گیاه را لایه‌ای موسیلاژی پوشانیده است و هنگامی که این دانه های داخل آب قرار می‌گیرند، سریعاً از آن خارج می شوند. دانه ریحان حاوی مقادیر زیادی صمغ با خواص رئولوژیکی قابل توجه است که آن را با سایر هیدروکلوئیدهای تجاری قابل مقایسه نموده است. صمغ دانه ریحان را می‌توان در فرمولاسیون انواع مواد غذایی و یا برای پوشش‌دهی انواع محصولات کشاورزی به‌عنوان پوشش خوراکی قبل از فرآیند سرخ کردن استفاده کرد (Salehi, 2020a). لذا هدف این تحقیق بررسی و مدل‌سازی اثر غلظت صمغ دانه ریحان در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد و دمای سرخ‌کن در سه سطح ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سلسیوس بر خصوصیات برش‌های بادمجان سرخ‌شده شامل درصد روغن و مقدار رطوبت به روش الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

- تهیه پوشش‌های صمغ دانه ریحان

در این پژوهش دانه‌های ریحان از استان همدان تهیه و ناخالصی آن‌ها کاملاً جداسازی گردید. جهت استخراج موسیلاژ، ابتدا دانه‌های ریحان 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 (Salehi, 2017). موسیلاژ تهیه‌شده در دمای ۶۰ درجه سلسیوس توسط آون دارای فن (شیماز، ایران) خشک و سپس توسط آسیاب پودر گردید. جهت بررسی اثر غلظت صمغ ریحان بر پارامترهای مورد بررسی، غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵

[1] Genetic Algorithm (GA) [2] Selection [3] Crossover [4] Mutation [5] Hydrophilic

درصد (وزنی/وزنی) از صمغ خشک شده تهیه گردید. برای حل کردن صمغ درون آب از همزن مغناطیسی (شیماز، ایران) استفاده شد.

- فرآیند پوشش‌دهی

برای انجام آزمایش‌ها، نمونه‌های بادمجان با اندازه متوسط و یک شکل از استان همدان تهیه گردید. برای انجام فرآیند سرخ کردن ابتدا بادمجان 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) و پوشش داده‌شده توسط غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان تقسیم شدند. ابتدا درون بشر به‌صورت جداگانه محلول‌هایی با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی از صمغ خشک شده تهیه شد. سپس برای پوشش‌دهی، نمونه‌های برش خورده بادمجان به مدت ۱ دقیقه درون محلول‌های تهیه‌شده از صمغ قرار گرفتند.

- فرآیند سرخ کردن

برش‌های بادمجان پس از برش و پوشش‌دهی، جهت سرخ کردن در سه سطح دمای ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. جهت سرخ کردن عمیق از روغن مایع آفتابگردان (مخصوص سرخ کردن، بهار، ایران) و سرخ‌کن خانگی دلمونتی استفاده شد. جهت کنترل دمای سرخ‌کن از دماسنج دیجیتالی تماسی دو کاناله لوترون[1] (تایوان) با دامنه دمایی ۵۰- تا ۱۲۳۰ درجه سلسیوس (±۰/۱°C) و ترموکوپل دمایی نوع K استفاده گردید. این پژوهش در دو مرحله مجزا انجام شد. در مرحله اول برای بررسی درصد روغن، مقدار رطوبت و رنگ سطحی نمونه‌های سرخ‌شده، 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 دستمال‌کاغذی، خصوصیات ذکر شده برای آنها اندازه‌گیری شد. در مرحله دوم برای بررسی تغییرات وزن نمونه‌ها در طی فرآیند سرخ کردن، هر یک دقیقه تغییرات وزن نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی[2] با دقت ۰/۰۱ ± گرم، ثبت گردید. برای این کار ابتدا نمونه‌ها از مخزن روغن خارج، روغن سطح نمونه‌ها توسط دستمال‌کاغذی حذف و سپس بر روی ترازوی دیجیتالی قرار داده شدند. مقدار ماده جامد و رطوبت برش‌های تازه و سرخ‌شده بادمجان با استفاده از آون (شیماز، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و در مدت زمان ۵ ساعت اندازه‌گیری شد (با استفاده از رابطه ۱) (Hosseini, 2006). میانگین رطوبت برش‌های تازه بادمجان ۹۲ درصد بود.

$$MC = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه، MC: مقدار رطوبت[3] (درصد)، M_1: جرم نمونه قبل از قرارگیری در آون (گرم) و M_2: 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).

$$OU = \frac{TS_2 - TS_1}{M_1} \times 100 \qquad (۲)$$

در این رابطه، OU: روغن جذب‌شده[4] (درصد)، TS_2: ماده جامد برش‌های سرخ‌شده (گرم)، TS_1: ماده جامد برش‌های تازه (گرم) و M_1: جرم نمونه سرخ‌شده بادمجان (گرم) است.

- بررسی شاخص‌های رنگی (پردازش تصویر)

رنگ برش‌های بادمجان سرخ‌شده با استفاده از روش هانترلب با سه مؤلفه زردی (b^*)، قرمزی (a^*) و روشنایی (L^*) و با به‌کارگیری نرم‌افزار Image J (Image J 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

[1] Lutron, TM-916 [2] Digital balance, LutronGM-300p (Taiwan) [3] Moisture content (MC) [4] Oil uptake (OU)

اسکنر اچپی[1]، جهت تصویربرداری استفاده گردید.

- تجزیه وتحلیل آماری

در این پژوهش از غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان (۰/۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی/وزنی) جهت پوشش‌دهی برش‌های بادمجان هنگام سرخ شدن عمیق در دماهای ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه سلسیوس استفاده گردید و جذب روغن، محتوای رطوبت و خصوصیات رنگی نمونه‌های سرخ‌شده مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه‌وتحلیل 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 تجزیه‌وتحلیل آماری از نرم‌افزارSAS نسخه ۹/۱ استفاده شد.

- 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 بادمجان پوشش داده‌شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان 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[2] به مجموع ورودی‌های وزن‌دار شده با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$Y_j = \sum_{i=1}^{p} f(W_{ij} X_i + b_j) \qquad (۳)$$

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 ریحان 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[3] (نسخه ۵)، ۰/۹ و ۰/۰۱؛ و تعداد نرون‌ها جهت بهینه‌سازی ۱ تا ۳۰ عدد در نظر گرفته شد. از توابع فعال‌سازی[4] خطی، سیگموئیدی[5] و تانژانت هیپربولیک[6] 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 لونبرگ- مارکوارت[7]، بهترین ساختار[8] شبکه جهت دست‌یابی به شبکه بهینه بررسی شد. به‌منظور ارزیابی شبکه‌های عصبی و انتخاب بهترین توپولوژی شبکه برای پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص میانگین مربعات خطا[9]، میانگین مربعات خطای نرمالیزه شده[10]، میانگین خطای مطلق[11] و ضریب همبستگی[12] استفاده گردید (معادلات ۴ تا ۷). ضریب همبستگی مقداری بین ۱- و ۱ دارد که اطلاعاتی درباره آموزش شبکه می‌دهد. هر چه عدد ضریب همبستگی به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان می‌دهد که آموزش به‌خوبی انجام شده است (Amini *et al.*, 2021).

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{N} (O_i - T_i)^2}{N} \qquad (۴)$$

$$NMSE = \frac{1}{\sigma^2} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (O_i - T_i)^2 \qquad (۵)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} |O_i - T_i| \qquad (۶)$$

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} [O_i - T_i]^2}{\sum_{i=1}^{N} [O_i - T_m]^2}} \qquad (۷)$$

[1] Hp Scanjet 300, China [2] Bias [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) [8] Topology [9] Mean squared error (MSE) [10] Normalized Mean squared error (NMSE) [11] Mean absolute error (MAE) [12] Correlation coefficient (r)

در معادلات فوق T و O به ترتیب مقادیر پیشگویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی و واقعی داده iام، N تعداد داده‌ها و σ^2 واریانس داده‌ها می‌باشند. T_m با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^{N} O_i}{N} \quad (۸)$$

یافته‌ها

- خصوصیات برش‌های بادمجان سرخ‌شده

در شکل ۲ اثر غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان بر خصوصیات برش‌های بادمجان سرخ‌شده شامل درصد روغن و مقدار رطوبت گزارش‌شده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌شود پوشش‌دهی با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان باعث کاهش جذب روغن شده است (P<۰/۰۵) و بین غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود (P<۰/۰۵) و کمترین جذب روغن مربوط به نمونه پوشش داده‌شده با ۱/۵ درصد صمغ دانه ریحان بود (۲۵/۲۳٪).

در شکل ۳ اثر پوشش‌دهی با صمغ دانه ریحان بر تغییرات وزن برش‌های بادمجان طی فرآیند سرخ کردن گزارش شده است. مطابق این شکل، درصد تغییرات وزن در نمونه‌های پوشش داده‌شده 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.

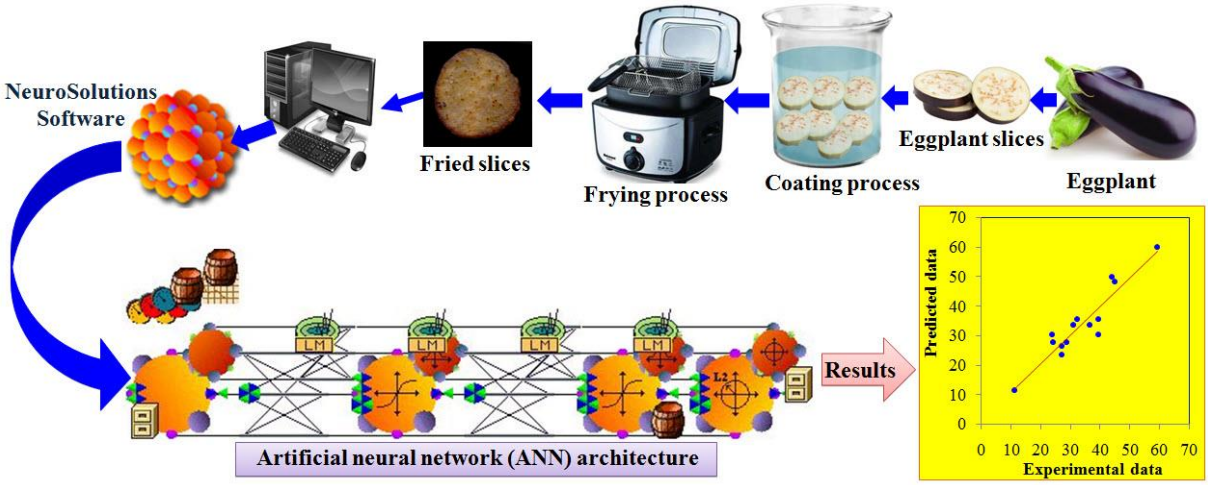

Figure 1. Graphical abstract of frying process of coated eggplant slices and process modeling using genetic algorithm-artificial neural network method

شکل ۱- چکیده تصویری فرآیند سرخ کردن برش‌های بادمجان پوشش داده‌شده و مدل‌سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

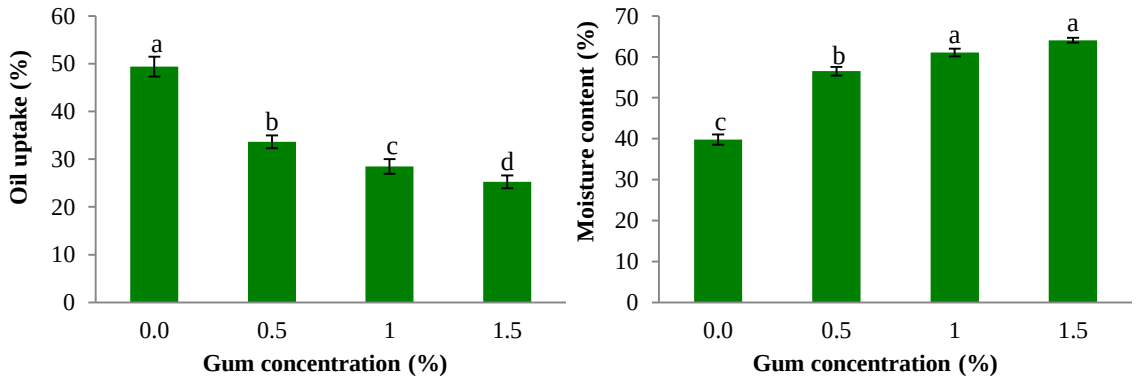

Figure 2. Effect of coating with Basil seed gum on the oil uptake and moisture content of fried eggplant slices.

شکل ۲- اثر پوشش‌دهی با صمغ دانه ریحان بر جذب روغن و مقدار رطوبت برش‌های بادمجان سرخ‌شده

- نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

توانایی پیشگویی یک شبکه عصبی به ساختار آن وابستگی کامل دارد (نوع تابع فعال‌سازی، تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه پنهان). بر اساس روش آزمون‌وخطا مشخص شد درصورتی‌که ۵۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد (جدول ۱). ۱۰ 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 ۴ نرون در لایه پنهان می‌تواند به‌خوبی خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده بدون پوشش و پوشش داده‌شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان 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 ۴ نورون در لایه پنهان در جدول ۲ گزارش‌شده است. در این جدول 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 گزارش‌شده است.

مقدار میانگین مربعات خطا در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۴ 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.

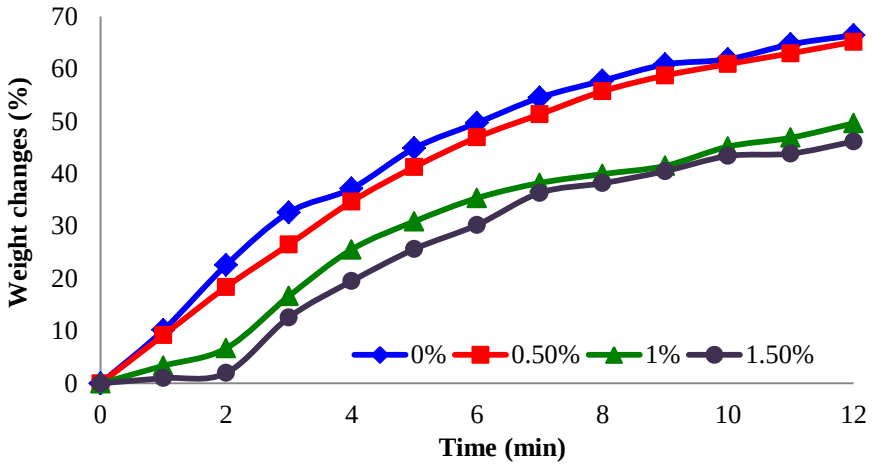

Figure 3. Effect of coating with Basil seed gum on the weight changes of eggplant slices during frying.

شکل ۳- اثر پوشش‌دهی با صمغ دانه ریحان بر تغییرات وزن برش‌های بادمجان طی سرخ کردن

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

Table 1. 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	Hyperbolic tangent	4	50%	10%	40%

جدول ۲- مقادیر خطا در پیش‌بینی داده‌های آموزش توسط الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بهینه با ٤ نورون در لایه پنهان

Table 2. The error values in prediction of testing data by optimal genetic algorithm-artificial neural network with 4 neurons in hidden layer

Error	Oil uptake	Moisture content	Yellowness	Redness	Lightness
Mean squared error	16.782	21.354	4.153	3.723	9.937
Normalized mean squared error	0.132	0.188	0.154	0.126	0.135
Mean absolute error	3.338	3.994	1.622	1.436	2.288
Correlation coefficient (r)	0.937	0.924	0.945	0.943	0.939

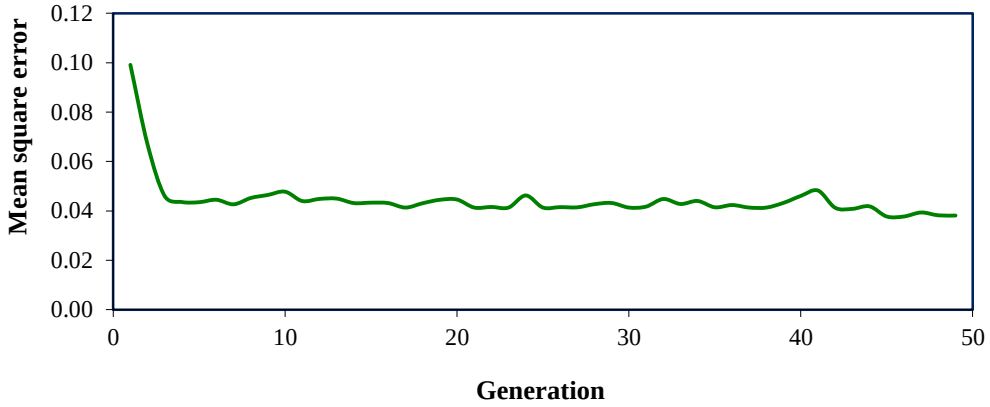

Figure 4. Mean square error (MSE) values (average fitness) versus generation number during the optimization procedure of the genetic algorithm-artificial neural network system.

شکل ٤- مقادیر میانگین مربعات خطا (MSE) (میانگین برازش) در برابر تعداد نسل در طی فرآیند بهینه‌سازی سیستم الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۴۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیش‌بینی شده درصد روغن، مقدار رطوبت، شاخص زردی، شاخص قرمزی و شاخص روشنایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده توسط شبکه عصبی بهینه (۲/۴/۵) در شکل ۵ نشان داده‌شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی برای پارامترهای بررسی‌شده نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. ضریب همبستگی محاسبه شده برای پارامترهای مربوط به خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده شامل درصد روغن، مقدار رطوبت، شاخص زردی، شاخص قرمزی و شاخص روشنایی به ترتیب برابر ۰/۹۳۷، ۰/۹۲۴، ۰/۹۴۵، ۰/۹۴۳ و ۰/۹۳۹ بود.

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 ۴ نرون در لایه پنهان آورده شده است. با استفاده از این داده‌ها می‌توان خصوصیات فیزیکوشیمیایی بادمجان سرخ‌شده شامل درصد روغن، مقدار رطوبت، شاخص زردی، شاخص قرمزی و شاخص روشنایی را در شرایط مختلف و تیمارهای مختلف پیش‌بینی نمود.

به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت۱ بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری که در شکل ۶ مشاهده می‌شود تغییر غلظت صمغ دانه ریحان بیشترین تأثیر را بر شاخص روشنایی و سپس بر روی مقدار روغن برش‌های بادمجان سرخ‌شده دارد. همچنین شاخص قرمزی نمونه‌های سرخ‌شده بادمجان هم کمترین تأثیر را از تغییر غلظت صمغ دانه ریحان پذیرفت. اثر تغییر دما بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی بادمجان سرخ‌شده نیز در این مشاهده می‌شود.

بحث

- نتایج آزمایشگاهی

محصولات غذایی سرخ‌شده با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد مانند رنگ، بو، طعم و بافت ترد و مطلوب بسیار مورد توجه می‌باشند. بالا بودن محتوای روغن ماده غذایی سرخ‌شده موجب کاهش پذیرش محصول از جانب مصرف‌کنندگان می‌شود. مشکل جذب روغن در ارتباط با محصولات سرخ‌شده را می‌توان با استفاده از هیدروکلوئیدها به‌عنوان پوشش‌های خوراکی در طول فرآیند سرخ کردن کاهش داد (Yadegari *et al.*, 2020). پوشش‌دهی باعث افزایش محتوای رطوبت نمونه‌ها گردید (P<۰/۰۵) و بین غلظت ۰/۵ با غلظت‌های ۱ و ۱/۵ درصد صمغ دانه ریحان تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵). بیشترین مقدار رطوبت مربوط به نمونه پوشش داده‌شده با ۱/۵ درصد صمغ دانه ریحان بود (۶۴/۰۵٪). هم‌راستا با موضوع این پژوهش، ارزیابی تأثیر پوشش‌دهی با متیل‌سلولز، پکتین و مخلوط متیل‌سلولز- 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

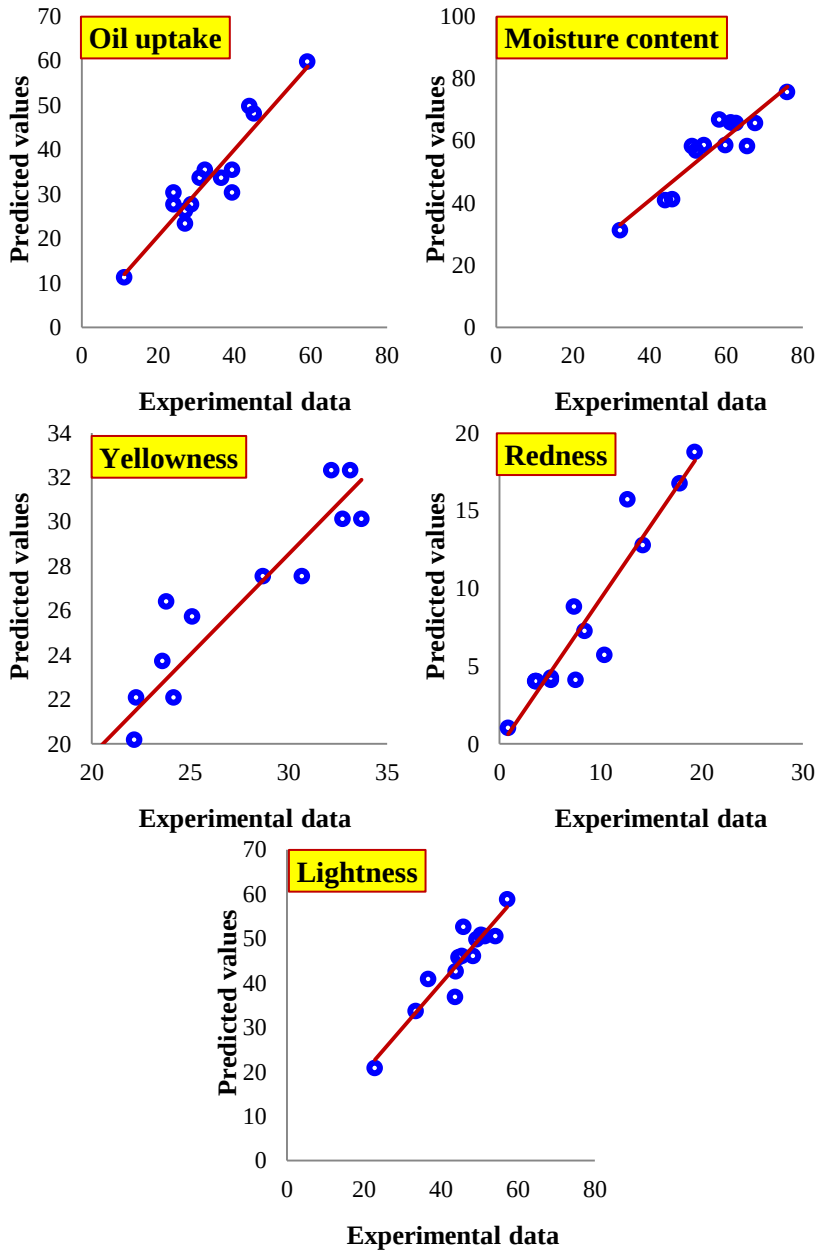

Figure 5. Experimental data versus predicted values for the physicochemical characteristics of fried eggplant slices coated by Basil seed gum.

شکل ۵- داده‌های تجربی در برابر مقادیر پیش‌بینی شده برای خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده پوشش داده‌شده با صمغ دانه ریحان

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	-0.1803	-0.4414	2.0983	-1.5027	0.9694	-0.5442	2.1760	1.2969
2	-0.7721	0.5690	-0.4206	-0.8184	0.6098	-1.9977	-2.8262	-1.0629
3	1.1368	2.7463	0.1412	0.6043	-0.1255	0.7064	0.2415	0.0043
4	0.0851	-0.4737	1.0785	0.1380	-0.8222	-0.5235	0.4641	0.4206
Bias				0.3899	-0.2828	-0.7297	-0.4035	-0.2905

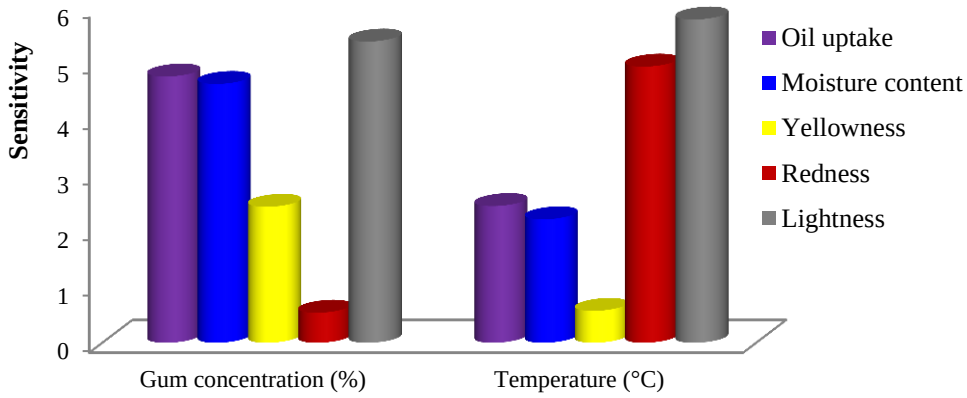

Figure 6. Sensitivity analysis results for physicochemical characteristics of fried eggplant slices coated by Basil seed gum.

شکل ٦- نتایج آنالیز حساسیت برای خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده پوشش داده‌شده با صمغ دانه ریحان

سرخ‌شده (محتوی رطوبت و روغن و ویژگی‌های رنگ، سفتی و حجم فلافل) به روش عمیق توسط Hassan Pour و همکاران (۲۰۱۵) بررسی‌شده است. 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 کاهشی 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 داده‌شده با مخلوط متیل‌سلولز- پکتین گزارش‌شده است. در پژوهشی دیگر Asadnahal و همکاران (۲۰۲۱) اثر پوشش خوراکی تهیه شده از صمغ دانه مرو بر سینتیک تغییرات رنگ و سطح برش‌های بادمجان طی فرآیند سرخ کردن را بررسی کرده‌اند. براساس نتایج گزارش شده توسط این پژوهشگران، پوشش‌دهی برش‌های بادمجان با ۱/۵ درصد صمغ دانه مرو باعث حفظ شکل ظاهری محصول سرخ‌شده شده و کمترین تغییرات مساحت سطحی در زمان سرخ شدن نیز در این نمونه بوده شد.

در فرآیند سرخ کردن، انتقال همزمان حرارت و جرم رخ می دهد و کوتاه بودن زمان پخت در این فرآیند موجب بروز خواص حسی منحصربه فرد در ماده غذایی، از جمله عطر، طعم و رنگ می شود. انتقال جرم در این فرآیند شامل از دست دادن رطوبت نمونه و جذب روغن موجود در سرخ کن می باشد. هر چقدر سرعت خروج رطوبت از نمونه بیشتر باشد، نمونه با سرعت بیشتری روغن جذب کرده و درصد روغن محصول نهایی افزایش می یابد. اثرات جدا و متقابل صمغ های دانه قدومه شیرازی و متیل سلولز بر خصوصیات کیفی سیب‌زمینی سرخ‌شده توسط Yadegari و همکاران (۲۰۲۰) بررسی‌شده است. نتایج این پژوهش حاکی از این بود که پوشش‌دهی با مواد هیدروکلوئیدی به دلیل خاصیت سد کنندگی این مواد منجر به کاهش افت رطوبت خلال ها در هنگام سرخ کردن شد. با توجه به نقش کنترل کنندگی آب در میزان جذب روغن، محتوی روغن نمونه‌های پوشش‌دهی شده در مقایسه با نمونه شاهد کمتر بود، به‌جز پوشش ترکیبی از صمغ دانه قدومه شیرازی+متیل سلولز که موجب افزایش میزان جذب روغن نمونه شد. در بین تیمارهای مورد مطالعه، پوشش تهیه‌شده از صمغ دانه قدومه شیرازی با غلظت ۲٪ بهترین بود، به‌طوری‌که موجب حداکثر کاهش در جذب روغن سیب‌زمینی سرخ شده به میزان ۱۶/۷۲٪ شد. در پژوهشی دیگر Salehi و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که استفاده از صمغ دانه مرو جهت پوشش‌دهی برش‌های کدوخورشتی باعث کاهش جذب روغن محصول نهایی شده و از نظر ویژگی‌های ظاهری نیز نمونه های پوشش داده شده روشنتر بوده است. همچنین پیش تیمار پوشش‌دهی باعث حفظ رطوبت محصول نهایی شده و اندازه نمونه‌های پوشش داده شده با ۱/۵ درصد صمغ از سایر نمونه‌ها بزرگتر بوده است.

- نتایج مدل سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

به‌منظور پیش‌بینی خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده شامل درصد روغن، مقدار رطوبت و شاخص‌های زردی، قرمزی و روشنایی از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. غلظت صمغ دانه ریحان و دمای سرخ‌کن به‌عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و درصد روغن، مقدار رطوبت، شاخص زردی، شاخص قرمزی و شاخص روشنایی به‌عنوان خروجی‌های شبکه انتخاب گردیدند. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک در مقایسه با سایر توابع به دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی استفاده شد. کاهش سریع در نمودار میانگین مربعات خطا در سیکل‌های اولیه آموزش نشان از یادگیری سریع روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بود.

رنگ سطح محصولات فرآوری شده یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های کیفی مواد غذایی است که حتی قبل از مصرف آن مورد توجه قرار می‌گیرد (Choe and Min, 2007). کنترل شرایط سرخ کردن و استفاده از پوشش‌های خوراکی می‌تواند به بهبود ویژگی‌های ظاهری و رنگ محصول نهایی کمک کند (Salehi, 2018). تغییر دمای سرخ‌کن بیشترین تأثیر را بر شاخص روشنایی نمونه‌های سرخ‌شده داشت. شاخص قرمزی نمونه‌ها هم بعد از شاخص روشنایی، تأثیرپذیری زیادی از تغییر دمای سرخ‌کن داشت. بر اساس نتایج به دست آمده از آنالیز حساسیت، تغییر دمای سرخ‌کن کمترین تأثیر را بر شاخص زردی برش‌های بادمجان سرخ‌شده داشت. Salehi و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی اثر پوشش‌دهی با صمغ دانه مرو بر خصوصیات برش‌های کدوخورشتی سرخ‌شده را بررسی و سپس خصوصیات نمونه‌های سرخ‌شده را توسط روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی کردند. براساس نتایج این پژوهش، شبکه‌ای با تعداد پنج نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی می‌تواند خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های سرخ‌شده کدوخورشتی را پیش‌بینی نماید. همچنین نتایج آزمون آنالیز حساسیت گزارش شده توسط این پژوهشگران حاکی از آن بود 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 داشت. مدل‌سازی سینتیکی تغییرات رنگ در خلال سیب‌زمینی طی فرآیند سرخ کردن توسط Sabbaghi و همکاران (۲۰۱۷) بررسی شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که بخش عمده تغییرات رنگ در مراحل ابتدایی فرآیند رخ می‌دهد. دماهای بالاتر موجب روشنایی کمتر، قرمزی بیشتر و زردی بیشتر می‌شود. همچنین براساس نتایج مدل‌سازی، سینتیک تغییرات رنگ پوسته خلال سیب‌زمینی از یک تابع نمایی افزایشی تبعیت می‌کند و فرآیند سرخ کردن در دماهای بالاتر و زمان کوتاه می‌تواند جهت کنترل کیفیت رنگ و درنتیجه ایمنی محصول توصیه شده است. در پژوهشی دیگر Krokida و همکاران (۲۰۰۱) تأثیر دمای روغن، نوع روغن و ضخامت نمونه را بر تغییرات رنگ خلال سیب‌زمینی حین سرخ کردن با استفاده از یک مدل سینتیکی نمایی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که دمای روغن و ضخامت ماده غذایی از پارامترهای مهم فرآیند هستند که تأثیر معنی‌داری بر سرعت تغییر رنگ محصول دارند.

نتیجه‌گیری

جهت بهبود خصوصیات ظاهری و کاهش روغن جذب‌شده توسط مواد غذایی سرخ‌شده مانند بادمجان، آنها را می‌توان توسط هیدروکلوئیدها (صمغ‌ها) پوشش‌دهی کرد. علاوه بر درصد روغن کمتر، محصولات سرخ‌شده پوشش داده‌شده 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 ریحان جهت پوشش‌دهی برش‌های بادمجان هنگام سرخ شدن عمیق در دماهای مختلف استفاده گردید و تغییر خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های سرخ‌شده شامل درصد روغن، مقدار رطوبت، شاخص زردی، شاخص قرمزی و شاخص روشنایی، بررسی و مدل‌سازی گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش‌دهی با صمغ دانه ریحان 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 مدل‌سازی با روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌ای با ۴ نرون در لایه پنهان می‌تواند به‌خوبی خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده بدون پوشش و پوشش داده‌شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان را پیش‌بینی نماید. تغییر غلظت صمغ دانه ریحان و تغییر دمای سرخ‌کن بیشترین تأثیر را بر شاخص روشنایی برش‌های بادمجان سرخ‌شده داشتند.

منابع

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.

Asadnahal, M., Salehi, F. & Rasouli, M. (2021). Effect of edible coating prepared from wild sage seed gum on the kinetics of color and surface changes of eggplant slices during frying process. Food science and technology 18(114), 121-131.

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.

Choe, E. & Min, D. (2007). Chemistry of deep-fat frying oils. Journal of Food Science 72(5), 77-86.

Hassan Pour, N., Mohebi, M. & Varidi, M. (2015). Evaluation of coating and frying conditions on physicochemical properties of deep fat fried Falafel. Iranian journal of food science and technology 12(47), 53-63.

Hosseini, Z. (2006). *Common Methods in Food Analysis*. Shiraz University Pub.

Ignat, A., Manzocco, L., Brunton, N. P., Nicoli, M. C. & Lyng, J. G. (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., Esmaiili, 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(1), 249-254.

Krokida, M., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. & Marinos-Kouris, D. (2001). Colour changes during deep fat frying. Journal of Food Engineering 48(3), 219-225.

Kurek, M., Ščetar, M. & Galić, K. (2017). Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review. Food Hydrocolloids 71(1), 225-235.

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(2), 171-184.

Sabbaghi, H., Ziaiifar, A. M., Sadeghi Mahoonak, A. R., Kashaninejad, M. & Mirzaei, H. O. (2017). Kinetic modeling of color changes in french fries during frying process. Journal of Food Technology and Nutrition 14(1), 65-76.

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(4), 2006-2012.

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.

Salehi, F., Roustaei, A. & Haseli, A. (2021). 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. Food science and technology 18(115), 181-191.

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(1), 468-480.

Yadegari, M., Esmaeilzadeh Kenari, R. & Hashemi, S. J. (2020). Investigation the effect of separate and mutual interactions of *Alyssum homolocarpum* seed and methylcellulose gums on qualitative properties of fried potato. Journal of Innovation in Food Science and Technology 11(4), 89-101.

Modeling of Physicochemical Properties of Eggplant Slices Coated with Basil Seed Gum during Frying Process

F. Salehi [a*], M. Asadnahal [b]

[a] Associate Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

[b] MSc Student, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: 22 February 2021 Accepted: 30 June 2021

Abstract

Introduction: 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 methods to reduce the oil uptake, moisture retention, and improving the appearance properties of fried foods.

Materials and Methods: In this study, different concentrations of basil seed gum (0.0, 0.5, 1 and 1.5% w/w) were used to coat the 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.

Results: The results of this study showed that coating with basil 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% gum was higher than the other samples (64.05%). This process was modeled by genetic algorithm-artificial neural network method with 2 inputs that included basil seed gum concentration and frying temperature and 5 outputs that included 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 4 neurons in a hidden layer and using the hyperbolic tangent activation function can predict the physicochemical properties of fried eggplant slices.

Conclusion: The coating containing 1.5% of basil seed gum retained moisture content and reduced oil absorption by the fried samples, and this coating is recommended as a suitable edible coating for coating of eggplant slices before the frying process. Sensitivity analysis results showed that the changes in the concentration of basil seed gum had the highest effect on the lightness index and then on the oil content of fried eggplant slices. The change of frying temperature also had the highest effect on the lightness index of fried samples.

Keywords: *Artificial Neural Network, Genetic Algorithm, Hyperbolic Tangent Function, Lightness Index, Oil Uptake.*

* Corresponding Author: F.Salehi@Basu.ac.ir