

مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و روش شناسی سطح پاسخ در پیش‌بینی تغییرات برخی از ویژگی‌های میوه کُندس خشک شده به روش اسمز با پیش‌تیمار مایکروویو

علیرضا قدس‌ولی^{۱*}، معصومه مقیمی^۲، محمد گنجه^۳، حمید بخش‌آبادی^۳

*دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.
گروه شیمی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران
گروه کشاورزی، مرکز آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۶

چکیده

امروزه استفاده از روش‌های غیر حرارتی، مانند خشک کردن اسمزی و آبگیری با استفاده از فراصوت و مایکروویو برای تولید محصولات غذایی افزایش یافته است، در این راستا این مطالعه با هدف پیش‌بینی روند تغییرات برخی از ویژگی‌های میوه کُندس خشک شده به روش اسمز با پیش‌تیمار مایکروویو تحت تاثیر زمان‌های مختلف مایکروویو (۰ تا ۴ دقیقه)، دماهای (۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان فرآیند اسمز (۶۰ تا ۲۴۰ دقیقه) اجرا شد. برای پیش‌بینی روند تغییرات این ویژگی‌ها از روش شناسی سطح پاسخ با یک طرح مرکب مرکزی و شبکه عصب مصنوعی استفاده شد. به‌منظور کمینه کردن میزان جذب مواد جامد و بیشینه کردن درصد کاهش آب و نسبت دفع آب به جذب مواد جامد مشخص شد که باید زمان مایکروویو، دما و زمان فرآیند اسمز به ترتیب ۱/۶۹ دقیقه، ۶۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۴۰ دقیقه باشد. تحت این شرایط میزان جذب مواد جامد (۱۵/۱۷ درصد)، کاهش وزن آب (۲۴/۲۱ درصد)، نسبت دفع آب به جذب مواد جامد (۱/۶۳) و کاهش وزن (۱۰/۰۰ درصد) است. با بررسی شبکه‌های مختلف، شبکه پس‌انتشار پیش‌خور با توپولوژی‌های ۴-۵-۳ با ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۹۶ و میانگین مربعات خطای کمتر از ۰/۰۰۱ و با بکارگیری تابع فعال‌سازی تانزانت هیپربولیکی، الگوی یادگیری جهنده و چرخه یادگیری ۱۰۰۰ به عنوان بهترین مدل عصبی مشخص گردید. از طرفی با مقایسه ضریب‌های همبستگی مدل‌های حاصل از روش سطح پاسخ و شبکه عصب مصنوعی مشخص شد که روش شبکه عصب مصنوعی کارایی بیشتری برای پیش‌بینی روند تغییرات ویژگی‌های میوه کُندس خشک شده با فرآیند اسمز با پیش‌تیمار مایکروویو دارد.

واژه‌های کلیدی: اسمز، خشک کردن، شبکه عصب مصنوعی، کُندس، مایکروویو

مقدمه

بحرانی، منجر به مهار میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آنزیمی می‌شود. در نتیجه فعالیت آبی را کاهش و ماندگاری را افزایش می‌دهد (Alp and Bulantekin, 2021). کاهش وزن و حجم، کاهش هزینه‌های حمل و نقل، توزیع و نگهداری، سهولت استفاده توسط مصرف‌کننده، حفظ طعم، بو و ارزش غذایی، آبگیری سریع و ویژگی‌های حسی خوب از عواملی هستند که اهمیت آبگیری مواد غذایی را تقویت

کاهش ضایعات مواد غذایی از نظر زیست‌محیطی و اقتصادی اهمیت زیادی دارد. از این رو، استفاده از روش‌هایی برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت مواد غذایی ضروری است. یکی از رایج‌ترین روش‌ها در صنایع غذایی، کاهش رطوبت از طریق آبگیری و خشک کردن است (Bajželj et al., 2020). کاهش رطوبت مواد غذایی، کمتر از یک حد

می‌کنند (Reyes et al., 2024). مواد غذایی را می‌توان با روش‌های مختلفی خشک کرد از جمله با نور خورشید، هوای گرم، مایکروویو، خلاء و آبیگری اسمزی. ساده‌ترین و ابتدایی‌ترین روشی که تاکنون به‌طور گسترده استفاده شده است، خشک کردن با هوای گرم (خشک‌کردن همرفتی) است (Çınkır and Süfer, 2020). با این حال، افزایش دما در فرآیندهای خشک‌کردن می‌تواند تاثیر منفی بر ویژگی‌های کیفی میوه‌ها و سبزی‌ها بگذارد. به همین دلیل، در سال‌های اخیر توجه زیادی به روش‌های غیرحرارتی معطوف شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به خشک‌کردن اسمزی و آبیگری با استفاده از فراصوت و مایکروویو اشاره کرد. این روش‌ها امکان تولید محصولات غذایی نوآورانه با کیفیت و ویژگی‌های حسی بهتر را فراهم می‌کنند. علاوه بر این، زمان و هزینه فرآوری را نیز کاهش می‌دهند (Mari et al., 2024). خشک کردن اسمزی رطوبت مواد غذایی را تقریباً ۳۰ تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد. که کافی نیست و از این رو مراحل فرآوری تکمیلی مانند خشک کردن در هوا، خشک کردن انجمادی و خشک کردن در خلأ ضروری است. کاهش اولیه رطوبت در خشک کردن اسمزی، بار تجهیزات خشک کردن بعدی را کاهش می‌دهد و در نتیجه هزینه سرمایه‌گذاری کم، صرفه‌جویی در انرژی، افزایش طول عمر ماشین آلات و بهبود مقرون به صرفه بودن را به همراه دارد. علاوه بر این، در حین خشک کردن اسمزی، آب بدون تغییر فاز حذف می‌شود و در نتیجه مصرف انرژی پایین می‌آید (Angilelli et al., 2015). یکی دیگر از مزایای خشک‌کردن اسمزی، جذب املاح توسط ماده غذایی است که می‌تواند به بهبود طعم و ویژگی‌های حسی محصول نهایی منجر شود. این روش به دلیل اجرای فرآیند در محیطی با دسترسی محدود به اکسیژن، خطر اکسیداسیون را کاهش می‌دهد. طی غوطه‌ور کردن محصول در محلول اسمزی، تماس با اکسیژن به حداقل می‌رسد و در نتیجه پایداری ترکیبات حساس

افزایش می‌یابد (Asghari et al., 2024). مایکروویو امواج الکترومغناطیسی غیر یونیزه با فرکانس بین ۳۰۰ مگا هرتز تا ۳۰۰ گیگا هرتز هستند و در فاصله بین امواج رادیویی و پرتو فرسرخ در طیف الکترومغناطیسی قرار دارند که از دو میدان عمودی نوسانی یعنی میدان الکتریکی و مغناطیسی ساخته می‌شوند. حرارت‌دهی معمولی وابسته به پدیده هدایت- جابه‌جایی است و سرانجام مقدار زیادی از انرژی حرارتی از طریق محیط از دست می‌رود در حالی که با این امواج، حرارت‌دهی در یک مسیر مشخص و انتخابی و بدون اتلاف حرارت به محیط اتفاق می‌افتد. اصول حرارت‌دهی با مایکروویو بر اساس تأثیر مستقیم امواج با حلال و مواد قطبی است و با دو پدیده انتقال یونی و چرخش دوقطبی اثر می‌گذارد که در بیشتر موارد این دو پدیده هم‌زمان اتفاق می‌افتد. این امواج موجب تبخیر آب از بافت‌های گیاهی و افزایش فشار در محیط داخلی می‌گردد که می‌تواند سبب تجزیه مواد، گسیختگی غشا و افزایش عبور ترکیبات مختلف از غشای سلولی گردد (Bakhshabadi et al., 2025). مطالعات نشان داده است افزایش توان مایکروویو و کاهش ضخامت نمونه، سرعت خشک شدن را افزایش و زمان خشک شدن را کاهش می‌دهد ولی استفاده از توان‌های بالا منجر به کاهش کیفیت، افزایش چروکیدگی و تغییرات رنگ میوه خواهد شد (Harish et al., 2014; Zhao et al., 2023).

کُندس (*Mespilus germanica* L.) که به آم ازگیل وحشی نیز گفته می‌شود، درختچه‌ای خزان‌کننده خاردار (گاهی بدون خار) است که دارای برگ‌های ساده، بیضی شکل یا مستطیلی-نیزه‌ای است. این درختچه عمدتاً در جنگل‌های معتدل نیم‌کره شمالی یافت می‌شود، جایی که این گیاه نقش مهمی در تأمین زیستگاه و غذا برای حیوانات مختلف دارد. میوه این گیاه معمولاً در اواخر پاییز و اوایل زمستان می‌رسد و به‌طور معمول به صورت خام، کنسرتزه یا رب، کنسرو، مربا، ژله و ترشی مصرف می‌شود.

دشوار باشد. این شبکه‌ها قابلیت به‌روزرسانی مستمر دارند و با افزایش حجم داده‌های در دسترس، دقت پیش‌بینی آن‌ها نیز بهبود می‌یابد. بهره‌گیری از توان محاسباتی شبکه‌های عصبی مصنوعی امکان بررسی سناریوهای مختلف و پیش‌بینی نتایج را برای پژوهشگران فراهم می‌کند، امری که می‌تواند فرآیند تصمیم‌گیری را تسریع کند و نیاز به آزمایش‌های پرهزینه و زمان‌بر را به حداقل برساند (Erfaniannejad Hosseini Nabadou *et al.*, 2025). از محققینی که از شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ویژگی‌های خشک کردن محصولات مختلف استفاده کردند می‌توان به مطالعات بخش‌آبادی و همکاران (Bakhshabadi *et al.*, 2020)، فرانسیک و همکاران (Francik *et al.*, 2024)، دورسان سایدام (Dursun Saydam, 2025) اشاره کرد که به‌ترتیب روی شلیل، پیاز و سیب مطالعه کرده‌اند (Bakhshabadi *et al.*, 2020; Dursun Saydam, 2025; Francik *et al.*, 2024).

روش‌شناسی سطح پاسخ نیز روشی آماری مفید و شناخته شده برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرآیندهاست. این روش مجموعه‌ای از راهکارهای آماری است که می‌تواند چگونگی تأثیرپذیری چندین متغیر مستقل را بر پاسخ‌های مورد نظر ارزیابی کند (Bakhshabadi *et al.*, 2017). از طرفی می‌توان از این روش برای تدوین و تنظیم شرایط فرآیندی در تولید محصولات جدید، بهبود کارایی فرآیندهای عملیاتی و کاهش اتلاف منابع استفاده کرد. با این روش تعداد آزمایش‌های مورد نیاز برای بررسی و بهینه‌سازی فرآیندها کاهش می‌یابد که این امر کاهش هزینه و زمان آزمایش‌ها را به‌دنبال خواهد داشت. با بهره‌گیری از روش‌های آماری مناسب می‌توان عوامل مؤثر و معنادار بر فرآیند را شناسایی و بر این اساس، شرایط بهینه آن‌ها را تعیین کرد (Chen and Chen., 2025; Erfaniannejad Hosseini Nabadou *et al.*, 2025).

میوه این گیاه منبع مناسبی از مواد مغذی مانند کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها، اسیدهای آلی، قندها، اسیدهای چرب، اسیدهای آمینه و ترکیبات مفید دیگر است. در طب سنتی از این میوه در تقویت اعصاب، معالجهٔ اسهال (به‌خصوص میوهٔ نارس آن)، خون‌ریزی رحمی، ورم روده، زخم دهان، تورم مخاط گلو (به ویژه عصارهٔ برگ آن) و تقویت پوست‌های حساس استفاده می‌شود و برای رفع ترشی معده و نفخ معده مناسب دانسته شده است (Nistor *et al.*, 2024; Salehi & Kashani Nejad, 2017). میوهٔ گندس حاوی دو قند اصلی فروکتوز ($59/30 \text{ g/kg}$) و گلوکز ($54/43 \text{ g/kg}$) است و فراوان‌ترین اسیدهای آلی موجود در آن، اسید مالیک ($8/44 \text{ g/kg}$) و اسید کوئینیک ($8/77 \text{ g/kg}$) است. کلسیم ($25/36 \text{ mg/kg}$)، پتاسیم ($7751/63 \text{ mg/kg}$)، آهن ($164/54 \text{ mg/kg}$)، روی ($41/13 \text{ mg/kg}$)، سدیم ($649/00 \text{ mg/kg}$)، منیزیم ($787/69 \text{ mg/kg}$) و کروم ($1/82 \text{ mg/kg}$) عناصر معدنی مهم این میوه را تشکیل می‌دهند (Voaides *et al.*, 2021; Glew *et al.*, 2003). میوه‌های این گیاه پس از چند هفتهٔ طعم خود را از دست می‌دهند و میوه‌های تازه برداشت شده یا بیش از حد رسیده می‌توانند قهوه‌ای و چسبناک شوند. با این حال، میوه‌های بیش از حد رسیده بافتی خوشمزه و کمی اسیدی دارند که می‌تواند در این مرحله مصرف شود (Voaides *et al.*, 2021).

شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌های محاسباتی الهام‌گرفته از عملکرد شبکه‌های عصبی زیستی در مغز انسان هستند. توانایی این شبکه‌ها در مدل‌سازی روابط غیرخطی، آن‌ها را به‌ویژه در شرایطی که تعامل بین متغیرهای فرآیند، پیچیده است به ابزاری کارآمد تبدیل کرده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های تجربی آموزش می‌بینند و با قرار گرفتن در معرض مجموعه‌ای از داده‌ها، قادرند الگوها و روندهایی را شناسایی کنند که تشخیص آن‌ها ممکن است با روش‌های سنتی

دقیقه) تحت تاثیر امواج مایکروویو (LG، کره جنوبی) با توان ۵۴۰ وات و فرکانس ۲۴۵۰ مگا هرتز قرار گرفتند. شرایط فرآیند اسمزی شامل دمای محلول اسمزی در محدوده ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد در سه سطح دمایی ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان تماس محصول و محلول اسمزی در محدوده ۶۰ تا ۲۴۰ دقیقه در سطوح ۶۰، ۱۵۰ و ۲۴۰ دقیقه تعیین گردید و بریکس شربت ساکارز مورد استفاده ۵۰ درصد وزنی/وزنی و نسبت نمونه به محلول اسمزی ۱ به ۱۰ بود. برش‌ها پس از تهیه شدن، وزن گردیدند و بلافاصله استفاده شدند. در این مرحله سعی شد تا برش‌ها در کنار یکدیگر و درون ظرف‌های مخصوصی قرار گیرند. بعد از طی شدن زمان آگیری، نمونه‌ها از محلول خارج و سطح آنها با آب مقطر شسته شد و روی کاغذ صافی به‌منظور جذب شدن آب سطحی قرار داده شد. نمونه‌ها بار دیگر وزن شدند. برای تعیین میزان رطوبت و ماده خشک، یک قطعه از نمونه در داخل آون در دمای 103 ± 0.5 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد (Bakhshabadi *et al.*, 2024; Manzoor *et al.*, 2021).

آزمایش‌ها

در این مطالعه میزان کاهش آب^۱، درصد جذب مواد جامد^۲ و میزان کاهش وزن برش‌های میوه بر اساس توزین آنها در مراحل مختلف (پیش از آگیری اسمزی، پس از اسمز و بعد از خشک کردن در آون) از طریق معادله‌های ۱ تا ۳ محاسبه شد و از تقسیم کردن میزان کاهش آب به درصد جذب مواد جامد، نسبت دفع آب به جذب مواد جامد به‌دست آمد (Bakhshabadi *et al.*, 2024; Bakhshabadi *et al.*, 2020).

$$SG = \frac{W_t S_t - W_0 S_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

¹Water loss (WL)

²Solid gain (SG)

با توجه به محدود بودن مطالعات در زمینه مقایسه دو روش آماری سطح پاسخ و شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ویژگی‌های میوه کُندس خشک‌شده به روش اسمز با پیش‌تیمار مایکروویو و نیز با در نظر گرفتن هزینه‌بر بودن و زمان‌بر بودن بررسی آزمایشگاهی تمامی عوامل مؤثر بر کیفیت محصول نهایی، هدف از این پژوهش بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن اسمزی میوه کُندس با پیش‌تیمار مایکروویو با استفاده از روش سطح پاسخ و همچنین مقایسه عملکرد مدل‌های حاصل از این روش در شرایط بهینه با مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ویژگی‌های محصول خشک‌شده تحت سطوح مختلف زمان مایکروویو، دما و زمان فرآیند اسمز بود.

مواد و روش‌ها

آماده سازی ماده اولیه

برای اجرای این آزمایش میوه‌های کُندس از بازار محلی شهرستان گرگان خریداری گردید و شناسایی علمی آن توسط کارشناسان و اعضا هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان و همچنین گروه باغبانی دانشگاه هرمزگان مورد تأیید شد. نمونه‌ها در مدت آزمایش در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. رطوبت نمونه‌ها مطابق روش AOAC به شماره ۹۲۵/۱۰ (AOAC, 2008) با قرار دادن آنها در آون معمولی و دمای 103 ± 0.5 درجه سانتی‌گراد تا دستیابی به وزن ثابت اندازه‌گیری شد و میزان آن ۹۱ درصد بر مبنای وزن مرطوب به‌دست آمد.

فرآیند خشک کردن اسمزی

برای فرآیند خشک کردن اسمزی ابتدا نمونه‌ها با یک کاتر تیز به قطعاتی با طول و ضخامت ۷ میلی‌متر و عرض ۵ میلی‌متر بریده شدند. با استفاده از یک کولیس ابعاد این قطعات کنترل گردید. در آزمایش سعی شد میوه‌هایی استفاده شوند که دارای بافت سفت و مناسب هستند. پیش از فرآیند اسمز، نمونه‌ها برای زمان‌های مختلف (۰ تا ۴

آنالیز مدل، ضعف برازش، و ضریب تعیین مشخص شد و آنالیز آماری توسط نرم افزار Design Expert نسخه ۱۲ صورت گرفت.

برای تعیین شبکه عصبی بهینه از ابزار شبکه عصبی نرم‌افزار متلب استفاده شد. به‌منظور طراحی این شبکه ۳ ورودی زمان مایکروویو و دما و زمان فرآیند اسمز در یک ماتریس ۳ سطری و میزان کاهش آب، درصد جذب مواد جامد، میزان کاهش وزن نمونه‌ها و نسبت دفع رطوبت به جذب مواد جامد در یک ماتریس ۴ سطری به عنوان هدف تعریف شد. شبکه‌های عصبی مختلف شامل توابع فعال‌سازی و یادگیری متفاوت و همچنین تعداد نورون مختلف در لایه پنهان طراحی و میزان کارایی آنها با استفاده از دو معیار ارزیابی ضریب همبستگی (R^2) و میانگین مربعات خطا (MSE) که به ترتیب با معادله‌های ۴ و ۵ تعیین شدند، مشخص گردید. ابتدا با آزمون شبکه‌های عصبی مختلف، شبکه عصبی پیشخور با بالاترین کارایی انتخاب گردید و تعداد چرخه‌های یادگیری نیز ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن این موارد، شبکه‌های عصبی مختلف حاوی یک لایه پنهان طراحی شد که تعداد متفاوتی از نورون‌ها از ۱ تا ۱۰ مورد را می‌توانست داشته باشد. برای اتصال لایه ورودی به لایه پنهان توابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیکی، لگاریتمی و خطی در مراحل مختلف آزمون و خطای شبکه‌ها استفاده شد. به‌منظور اتصال لایه پنهان به لایه خروجی تابع فعال‌سازی خطی به صورت ثابت استفاده شد. علاوه بر موارد ذکر شده، دو الگوی یادگیری متفاوت شامل الگوی لونبرگ - مارکوات^۳ و جهنده^۴ در شبکه‌های مختلف به کار گرفته شد و تاثیر آنها بر دقت شبکه‌ها ارزیابی گردید. در این معادله‌ها Y_{pi} نسبت ویژگی‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه، Y_{ei} نسبت ویژگی‌های حاصل از اجرای آزمایش‌ها و \bar{Y} میانگین

$$WL = \frac{W_0 X_0 - W_t X_t}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

$$WR = \frac{w_0 - w_t}{w_0} \quad (3)$$

در این معادله‌ها SG میزان جذب ماده جامد (درصد)، S_0 مقدار ماده جامد نمونه اولیه (گرم)، S_t مقدار ماده جامد نمونه آبیگری شده (گرم)، W_0 جرم اولیه نمونه (گرم)، WL میزان خروج آب (درصد)، W_t جرم نمونه آبیگری شده (گرم)، X_0 رطوبت اولیه نمونه (درصد)، X_t رطوبت نمونه آبیگری شده (درصد) و WR میزان کاهش وزن نمونه‌ها پس از فرایند (درصد) است.

روش تعیین نقشه آزمایش‌ها و مدل‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی گندس با پیش‌تیمار مایکروویو

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از بررسی تاثیر زمان مایکروویو و دما و زمان فرآیند اسمز بر برخی از ویژگی‌های میوه گندس از روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD^۱) با به‌کارگیری نرم‌افزار Design Expert.12 استفاده شد. به این منظور طرح مرکب مرکزی با ۵ تکرار در نقطه مرکزی برای بررسی خواص مورد ارزیابی استفاده شد. در همین راستا ۲۰ آزمایش با ۵ تکرار در نقطه مرکزی (۲ دقیقه مایکروویو، دما و زمان فرآیند اسمز نیز به ترتیب ۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۵۰ دقیقه) اجرا گردید. به کمک این طرح کلیه ضریب‌های مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها قابل برآورد هستند. مهمترین مسئله در این تحقیق بررسی اثر متقابل فاکتورها و یافتن بهترین شرایط فرآیند تولید گندس خشک شده با پیش‌تیمار مایکروویو بود و از این‌رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب گردید. برای ارزیابی رفتار سطوح پاسخ، یک معادله چند جمله‌ای درجه دوم برای هر متغیر مستقل برازش داده شد. کیفیت و صحت مدل رگرسیونی و مناسب بودن برازش صورت گرفته به وسیله پارمترهای

³Levenberg–Marquardt learning algorithm

⁴ Resilient backpropagation (trainrp)

¹ Central Composite Design

² Design Expert, 6.0.2 Trial, Stat-Ease Inc.

درجه دوم زمان مایکروویو و زمان فرآیند اسمز بر میزان جذب مواد جامد نمونه‌ها تاثیر معنی‌دار دارند ($p < 0.01$)، ولی تمامی پارامترهای اثر متقابل و درجه دوم دمای فرآیند بر این ویژگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند. از طرفی، شکل ۱ نشان می‌دهد که با افزایش زمان مایکروویو، زمان و دمای فرآیند اسمز، میزان جذب مواد جامد توسط نمونه‌ها افزایش می‌یابد. با توجه به اعداد F و ضریب‌های آورده شده در مدل شماره ۱، جدول ۲ می‌توان گفت بیشترین تاثیر بر جذب مواد جامد مربوط به پارامتر خطی زمان مایکروویو است. در یک میدان مایکروویو، دمای هسته محصول بالا می‌رود و اختلاف فشار بین هسته و سطح محصول به وجود می‌آید و باعث ایجاد ساختار متخلخل و نفوذپذیری بیشتر به بخار و در نهایت افزایش ضریب انتشار مؤثر رطوبت در اثر گرمایش سریع‌تر می‌شود (Ataee et al., 2022). با توجه به وابستگی ضریب انتشار به دما و تبعیت آن از رابطه آرنیوس، افزایش دما موجب تسریع انتشار آب در بافت ماده غذایی می‌شود. افزون بر این، کاهش ویسکوزیته محلول اسمزی در دماهای بالاتر، انتقال جرم را در سطح نمونه بهبود می‌بخشد، در نتیجه، افزایش زمان و دمای فرآیند اسمز منجر به افزایش میزان جذب مواد می‌شود (Bakhsabadi et al., 2024). پاوکف و همکاران (Pavkov et al., 2021) گزارش کردند که افزایش دمای فرآیند با کاهش ویسکوزیته آب و محلول اسمزی و نیز افزایش نفوذپذیری دیواره‌های سلولی همراه است. این تغییرات سبب کاهش مقاومت انتقال جرم می‌شود و در نتیجه، خروج آب از بافت و نفوذ عامل اسمزی به درون قطعات میوه را تسهیل می‌کند که در نهایت به افزایش جذب مواد جامد منجر می‌شود. سونگ و همکاران (Song et al., 2020) نیز هم‌راستا با نتایج این بخش نشان دادند که با افزایش زمان و دمای فرآیند اسمز میزان جذب مواد جامد نمونه‌های شاه توت افزایش می‌یابد.

نسبت‌های ویژگی‌های آزمایشگاهی و N تعداد کل مشاهدات است.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{pi} - Y_{si})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_{pi} - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{pi} - Y_{si})^2 \quad (5)$$

وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و پایین آمدن دقت شبکه می‌شود. از این رو داده‌های ورودی به شبکه باید نرمال شوند. اگر این مرحله طی نشود، شبکه در فاز آموزش همگرا نمی‌شود و نتایج مطلوب تولید نخواهد شد. در این بررسی برای تعدیل کردن داده‌ها از معادله ۶ استفاده شده است که ورودی‌ها و خروجی‌ها را بین صفر و ۱ استاندارد می‌کند.

$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (6)$$

در این معادله: V_R داده خام اولیه، V_N داده نرمالیزه شده، V_{min} و V_{max} به ترتیب مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های اولیه هستند (Bakhsabadi et al., 2024; Erfaniannejad Hosseini Nabadou et al., 2025).

سنجش کارایی روش سطح پاسخ و شبکه عصب مصنوعی برای پیش بینی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری بدین منظور از ضریب‌های همبستگی (R^2) مدل‌های مورد مطالعه استفاده گردید به گونه‌ای که هر معادله دارای R^2 بالاتری بود نشان از کارایی بیشتر آن روش در پیش‌گویی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری میوه کُندس خشک شده داشت (Erfaniannejad Hosseini Nabadou et al., 2025).

نتایج و بحث

جذب مواد جامد

جدول ۱ نشان می‌دهد تمامی پارامترهای خطی مورد مطالعه (زمان مایکروویو، زمان و دمای فرآیند)، پارامتر

جدول ۱- تجزیه و تحلیل داده های حاصل از اجرای آزمایش
Table 1- Analysis of variance of the data obtained from the experiment

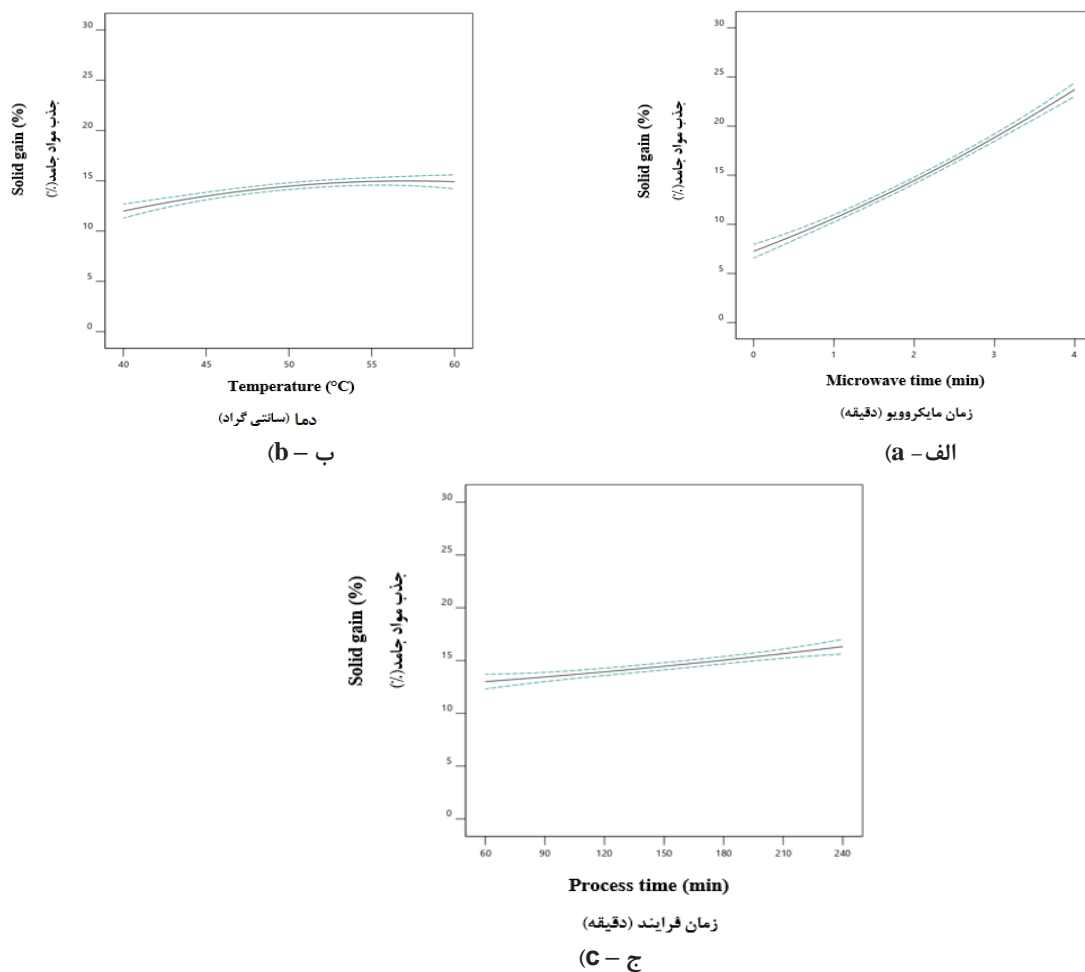
Source منابع	Solid gain جذب مواد جامد		Water loss کاهش آب		Water loss/Solid gain نسبت دفع آب به جذب مواد جامد		Weight reduction کاهش وزن	
	Sum of squares مجموع مربعات	F-value عدد F	Sum of squares مجموع مربعات	F-value عدد F	Sum of squares مجموع مربعات	F-value عدد F	Sum of squares مجموع مربعات	F-value عدد F
Model مدل	732.48**	409.46	957.70**	119.40	0.79**	7.49	77.88*	3.92
X ₁	677.82**	3410.17	790.85**	887.41	0.38**	32.78	12.79*	5.80
X ₂	21.32**		82.83**	92.94	0.05 ^{ns}	4.61	15.35*	6.96
X ₃	27.56**	107.24	57.70**	64.74	0.01 ^{ns}	1.08	3.17 ^{ns}	1.44
X ₁ X ₂	0.61 ^{ns}	138.64	0.55 ^{ns}	0.61	0.03 ^{ns}	2.29	0.57 ^{ns}	0.26
X ₁ X ₃	0.24 ^{ns}	3.10	4.62*	5.18	0.05*	4.43	0.92 ^{ns}	0.41
X ₂ X ₃	0.53 ^{ns}	1.20	3.03 ^{ns}	3.40	0.02 ^{ns}	1.68	16.50*	7.48
X ₁ ²	2.91**	2.67	0.21 ^{ns}	0.24	0.01 ^{ns}	0.01	0.92 ^{ns}	0.41
X ₂ ²	2.84**	14.64	1.10 ^{ns}	1.24	0.07*	6.25	9.14 ^{ns}	4.14
X ₃ ²	0.11 ^{ns}	0.57	4.32 ^{ns}	4.84	0.01 ^{ns}	1.22	4.11 ^{ns}	1.86
Residual باقیمانده	1.99	-	8.91	-	0.12	-	22.06	-
Lack of fit عدم برازش	1.34 ^{ns}	2.05	8.82 ^{ns}	95.94	0.11 ^{ns}	16.90	21.39 ^{ns}	32.09
Pure error خطای خالص	0.65	-	0.09	-	0.00	-	0.67	-
Cor total مجموع ضرایب	734.47	-	966.61	-	0.91	-	99.94	-

X₁= زمان مایکروویو؛ X₂= دمای فرآیند؛ X₃= زمان فرآیند اسمز

کاهش آب

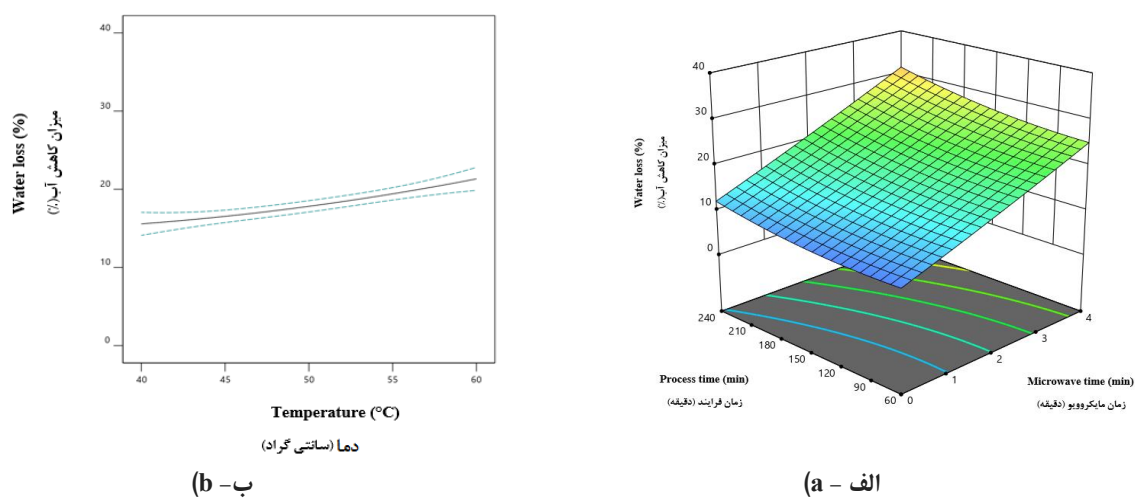
(Bakhshabadi *et al.*, 2025). نتایج به دست آمده از این بخش با نتایج مطالعات لین و همکاران (Lin *et al.*, 2025) همخوانی دارد که می‌گویند استفاده از مایکروویو منجر به افزایش خروج رطوبت از نوعی جنسینگ چینی می‌گردد. بخش‌آبادی و همکاران (Bakhshabadi *et al.*, 2020) می‌گویند با افزایش زمان تماس و دمای فرآیند، عوامل اسمزی قادر خواهند بود به میزان بیشتری در بافت شلیل نفوذ کنند و در مقابل میزان آب بیشتری از بافت خارج شود. این موضوع تا زمانی ادامه می‌یابد که تعادل بین خروج آب از محصول و نفوذ عوامل اسمزی به درون آن ایجاد شود. مانیوانان و همکاران (Manivannan *et al.*, 2011) نیز نشان دادند که افزایش دما با افزایش انرژی جنبشی مولکول‌ها، نفوذپذیری غشای سلولی را بالا می‌برد و سرعت خروج آب را از طریق اسمز افزایش می‌دهد، در حالی که زمان طولانی‌تر منجر به کامل‌تر شدن تعادل اسمزی می‌شود و انتقال جرم را به حداکثر خود می‌رساند و در نتیجه کاهش آب افزایش می‌یابد.

جدول ۱ نشان می‌دهد که تمامی پارامترهای خطی مورد مطالعه و اثر متقابل زمان مایکروویو و زمان فرآیند اسمز بر میزان کاهش آب تاثیر معنی دار دارد ($p < 0.05$). از طرفی اعداد F آورده شده در جدول ۱ و همچنین ضریب‌های مدل جدول ۲، حاکی از اثرگذاری بیشتر زمان مایکروویو بر این ویژگی است. با توجه به شکل ۲ الف می‌توان گفت با افزایش زمان مایکروویو در تمام طول فرآیند اسمز، میزان کاهش آب نمونه‌ها افزایش می‌یابد و افزایش زمان فرآیند اسمز نیز در تمامی زمان‌های مایکروویو منجر به افزایش میزان کاهش آب می‌شود. شکل ۲ ب نیز نشان می‌دهد که با افزایش دمای فرآیند، میزان کاهش آب نمونه‌ها افزایش می‌یابد. گرمای ناشی از امواج مایکروویو باعث تبخیر آب در بافت گیاهی و افزایش فشار درون سلولی می‌شود. این پدیده می‌تواند به تخریب ساختار بافت و گسیختگی غشای سلولی منجر شود و انتقال آب و دیگر ترکیبات را تسریع کند، در نتیجه، افزایش زمان اعمال مایکروویو با افزایش میزان کاهش آب همراه است.



شکل ۱- تاثیر الف) زمان مایکروویو، ب) دمای فرآیند و ج) زمان فرآیند بر میزان جذب مواد جامد نمونه‌ها

Figure 1 - Effect of a) microwave time, b) process temperature, and c) process time on the solids gain of the samples



شکل ۲- تاثیر الف) زمان مایکروویو با زمان فرآیند و ب) دمای فرآیند بر میزان کاهش آب نمونه‌ها

Figure 2 - Effect of a) microwave time with process time and b) process temperature on the water loss of samples

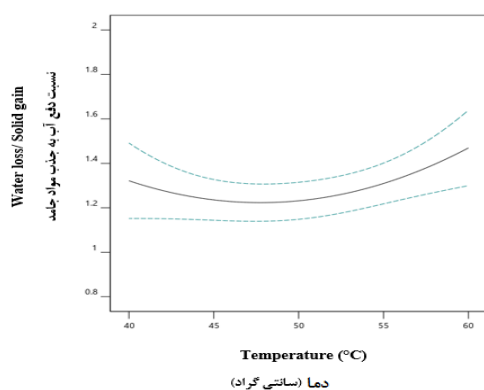
جدول ۲- مدل های پیش بینی شده برای متغیرهای وابسته
Table 2- Predictive models of dependent variables

Number شماره	Dependent variable ویژگی های وابسته	Equation معادله	R ²	R ² -adj	CV
1	Solid gain جذب مواد جامد	$y = +14.46 + 8.23 X_1 + 1.46 X_2 + 1.66 X_3 + 0.27 X_1 X_2 + 0.17 X_1 X_3 - 0.25 X_2 X_3 + 1.03 X_1^2 - 1.02 X_2^2 + 0.21 X_3^2$	0.997	0.995	3.06
2	Water loss کاهش آب	$y = +17.82 + 8.89 X_1 + 2.88 X_2 + 2.40 X_3 + 0.26 X_1 X_2 + 0.76 X_1 X_3 - 0.61 X_2 X_3 + 0.27 X_1^2 + 0.63 X_2^2 + 1.25 X_3^2$	0.991	0.982	4.99
3	Water loss/Solid gain نسبت دفع آب به جذب مواد جامد	$y = +1.23 - 0.19 X_1 + 0.07 X_2 - 0.03 X_3 - 0.06 X_1 X_2 + 0.08 X_1 X_3 + 0.05 X_2 X_3 + 0.01 X_1^2 + 0.16 X_2^2 + 0.07 X_3^2$	0.870	0.754	8.03
4	Weight reduction کاهش وزن	$y = +3.36 + 1.13 X_1 + 1.24 X_2 + 0.56 X_3 - 0.27 X_1 X_2 + 0.34 X_1 X_3 + 1.44 X_2 X_3 - 0.58 X_1^2 + 0.1.82 X_2^2 + 1.22 X_3^2$	0.779	0.581	32.33

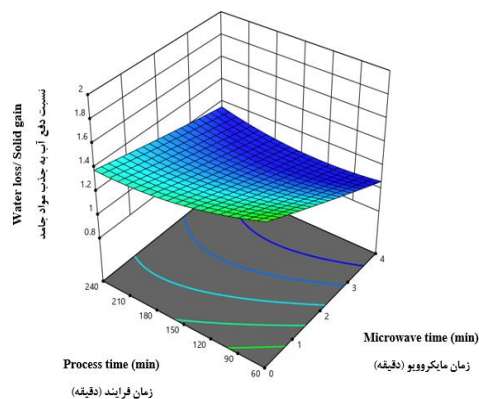
نسبت دفع آب به جذب مواد جامد

افزایش می‌یابد، این محققان نشان دادند که افزایش زمان مایکروویو و استفاده از دماهای بالاتر باعث تورم سلول‌های منفرد در نمونه می‌شود و در نتیجه نفوذپذیری غشای سلولی افزایش می‌یابد، بنابراین با افزایش ورود مولکول‌های قند به داخل میوه، نسبت دفع آب به جذب مواد جامد کاهش می‌یابد. افزایش انتقال جرم ناشی از افزایش زمان مایکروویو را می‌توان به تغییرات در ساختار نمونه (آسیب‌دیدگی دیواره سلولی و پف کردن بافت) نیز نسبت داد (Pardo and Leiva, 2009). منظور و همکاران (Manzoor *et al.*, 2021) مشخص کردند استفاده از مایکروویو با توان پایین منجر به کاهش این ویژگی می‌گردد در حالی که استفاده از مایکروویو با توان بالاتر از ۲۰ درصد توان اولیه منجر به افزایش میزان نسبت دفع آب به جذب مواد جامد می‌شود.

جدول تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش (جدول ۱) نشان می‌دهد که فقط پارامتر خطی زمان مایکروویو، اثر متقابل زمان مایکروویو و فرآیند و پارامتر درجه دوم دمای فرآیند بر نسبت دفع آب به جذب مواد جامد نمونه‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین تاثیر بر این ویژگی مربوط به پارامتر خطی زمان مایکروویو است (جدول‌های ۱ و ۲). نتایج تحقیق همچنین نشان می‌دهد با افزایش زمان مایکروویو نسبت دفع آب به جذب مواد جامد کاهش پیدا می‌کند ولی با افزایش زمان و دمای فرآیند اسمز میزان این ویژگی در ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد (شکل ۳). هاگ و همکاران (Haque *et al.*, 2020) می‌گویند با افزایش زمان مایکروویو میزان جذب مواد جامد میوه‌های موز در هنگام خشک کردن اسمزی



ب- ب



الف - ا

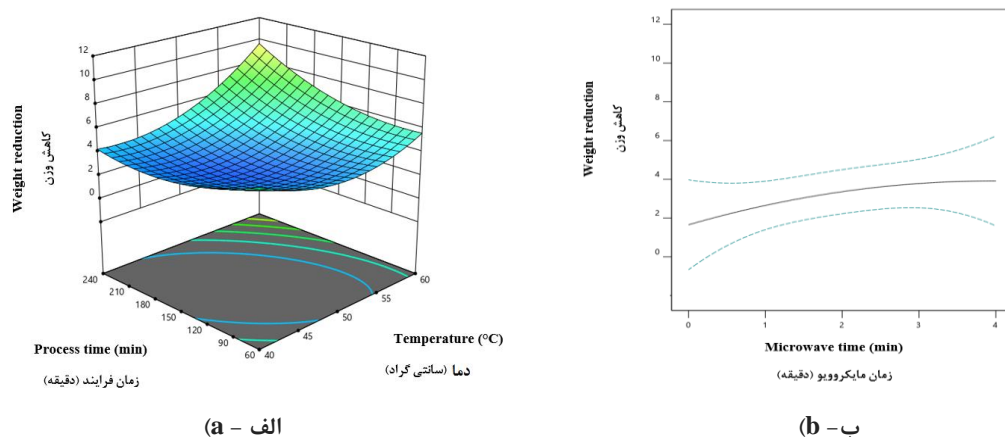
شکل ۳- تاثیر الف) زمان مایکروویو با زمان فرآیند و ب) دمای فرآیند بر نسبت دفع آب به جذب مواد جامد نمونه‌ها

Figure 3 - Effect of a) microwave time with process time and b) process temperature on the water loss /solid gain of samples

کاهش وزن

(*al.*, 2022) و منظور و همکاران (Manzoor *et al.*, 2021) نیز نشان دادند که استفاده از مایکروویو منجر به کاهش بیشتر در وزن نمونه‌ها می‌شود که هم‌راستا با نتایج این بخش است. بخش‌آبادی و همکاران (Bakhshabadi *et al.*, 2024) می‌گویند دماهای بالاتر و زمان غوطه‌وری طولانی‌تر در محلول اسمز منجر به افزایش کاهش وزن نمونه‌ها در مقایسه با محصول اولیه، می‌شود. این پدیده را می‌توان به کاهش ویسکوزیته محلول اسمزی در دماهای بالاتر نسبت داد که فرآیند انتقال جرم را افزایش می‌دهد. نتایج این بخش با نتایج بخش‌آبادی و همکاران (Bakhshabadi *et al.*, 2020) نیز همخوانی دارد که نشان داده بودند با افزایش دما و زمان فرآیند میزان کاهش وزن میوه شلیل در هنگام خشک کردن اسمزی کاهش می‌یابد.

جدول ۱ نشان می‌دهد که پارامترهای خطی زمان مایکروویو و دمای فرآیند اسمز و اثر متقابل زمان با دمای فرآیند بر میزان کاهش وزن نمونه‌ها تاثیر معنی‌دار ($p < 0.05$) دارد. از طرفی اعداد F آورده شده در جدول ۱ و همچنین ضریب‌های مدل جدول ۲ بیانگر اثرگذاری بیشتر پارامتر اثر متقابل زمان و دمای فرآیند بر این ویژگی است. با توجه به شکل ۴ الف می‌توان گفت با افزایش زمان مایکروویو، کاهش وزن نمونه‌ها افزایش می‌یابد و شکل ۴ ب نیز نشان می‌دهد افزایش دمای فرآیند میزان کاهش وزن نمونه‌ها را افزایش می‌دهد. استفاده از مایکروویو با افزایش دمای داخلی محصول میزان خروج رطوبت را افزایش می‌دهد (Ramírez *et al.*, 2025). عطایی و همکاران (Ataee *et al.*, 2025)



شکل ۴- تاثیر الف) زمان مایکروویو و ب) دما و زمان فرآیند اسمز بر کاهش وزن نمونه‌ها

Figure 4 - Effect of a) microwave time and b) temperature and time of osmotic process on weight reduction of samples

کردن اسمزی میوه‌های گندس در شرایط ذکر شده به‌منظور رسیدن به کمینه کردن میزان جذب مواد جامد و بیشینه کردن درصد کاهش آب و نسبت دفع آب به جذب مواد جامد بهینه‌یابی گردید. نتایج تحقیق نشان داد که به‌منظور رسیدن به هدف‌های ذکر شده، باید زمان مایکروویو، دما و زمان فرآیند اسمز به‌ترتیب ۱/۶۹ دقیقه، ۶۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۴۰ دقیقه باشد. در این

بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی میوه گندس با پیش‌ تیمار مایکروویو به‌منظور یافتن بهترین شرایط تولید میوه خشک شده گندس به روش اسمز با پیش تیمار مایکروویو با توجه به زمان مایکروویو در دامنه صفر تا ۴ دقیقه، دمای فرآیند اسمز (۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان فرآیند اسمز که بین ۶۰ تا ۲۴۰ دقیقه تنظیم شده بود، فرآیند خشک

شرایط، مطلوبیت ۰/۸۱۵ به دست می‌آید. جدول ۳ که پیش تیمار مایکروویو ارائه می‌دهد، نشان دهنده این مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده و آزمایشگاهی حاصل از مطلب است که روش سطح پاسخ در پیش‌بینی نتایج این شرایط بهینه میوه خشک شده گندس به روش اسمز را با فراورده دقت بالایی دارد.

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های پیش‌بینی شده و آزمایشگاهی میوه خشک شده گندس در شرایط بهینه

Table 3- Comparison of predicted and experimental properties of dried candied fruit under optimal conditions

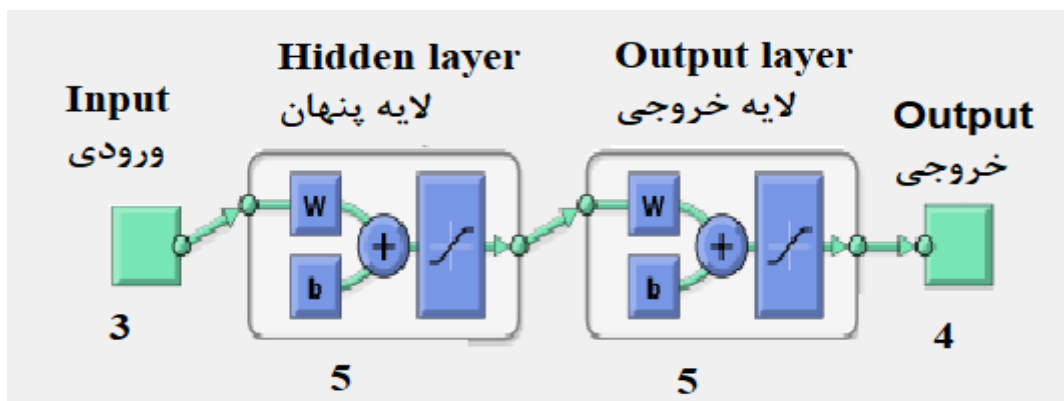
Weight reduction کاهش وزن	Water loss/Solid gain نسبت دفع آب به جذب مواد جامد	Water loss (%) کاهش آب (%)	Solid gain (%) جذب مواد جامد (%)	Results نتایج
9.44	1.58	24.11	15.22	Predicted پیش‌بینی شده.
10.00±0.35	1.63±0.13	24.21±0.09	15.17±0.05	Experimental آزمایشگاهی

مدل‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی گندس با همبستگی ارائه شده در این جدول، شبکه عصبی پیش‌تیمار مایکروویو با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی جدول ۴ مقایسه اثر تعداد نورون‌های لایه پنهان و نوع الگوی یادگیری را بر دقت پیش‌بینی شبکه‌های عصبی پس‌انتشار پیش‌خور را با توابع انتقال تانژانت هیپربولیکی، لگاریتمی و خطی و چرخه یادگیری ۱۰۰۰، نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر میانگین مربعات خطا و ضریب

جدول ۴- مقایسه تأثیر تعداد نورون‌های لایه پنهان و نوع تابع یادگیری و تابع فعال‌سازی بر دقت پیش‌بینی ویژگی‌های مختلف

Table 4- Comparison of the effect of neurons number of hidden layer and the type of learning function and activation function on predicting accuracy of various properties.

Neurons number تعداد نورون	Hyperbolic tangent تانژانت هیپربولیکی				Sigmoid logarithm لگاریتم سیگموئیدی				Linear خطی			
	Trainlm لونیبرگ - مارکوات		Trainrp جهنده		Trainlm لونیبرگ - مارکوات		Trainrp جهنده		Trainlm لونیبرگ - مارکوات		Trainrp جهنده	
	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE
2	0.859	0.006	0.870	0.018	0.917	0.011	0.	0.	0.663	0.033	0.856	0.01929
3	0.852	0.007	0.947	0.014	0.938	0.048	0.891	0.023	0.775	0.042	0.870	0.00416
4	0.923	0.007	0.986	0.005	0.762	0.013	0.897	0.022	0.778	0.039	0.865	0.00124
5	0.893	0.019	0.996	0.001	0.666	0.046	0.976	0.003	0.813	0.017	0.879	0.00271
6	0.899	0.007	0.994	0.002	0.876	0.012	0.977	0.008	0.799	0.026	0.843	0.00561
7	0.798	0.016	0.978	0.004	0.799	0.051	0.820	0.020	0.896	0.015	0.803	0.019
8	0.803	0.017	0.991	0.007	0.957	0.007	0.895	0.019	0.820	0.021	0.869	0.053
9	0.943	0.008	0.906	0.016	0.888	0.041	0.798	0.051	0.896	0.042	0.877	0.022
10	0.659	0.079	0.816	0.018	0.816	0.010	0.967	0.009	0.859	0.032	0.795	0.059



شکل ۵- شمای یک شبکه بهینه شده منتخب شامل ۳ نورون در لایه ورودی، ۵ نورون در لایه پنهان با تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک و ۴ نورون در لایه پنهان با تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک

Figure 5- The Schema of a selected optimized network containing 3 neurons in input layer, 5 neurons in hidden layer with activation function of hyperbolic tangent and 4 neurons in hidden layer with hyperbolic tangent activation function.

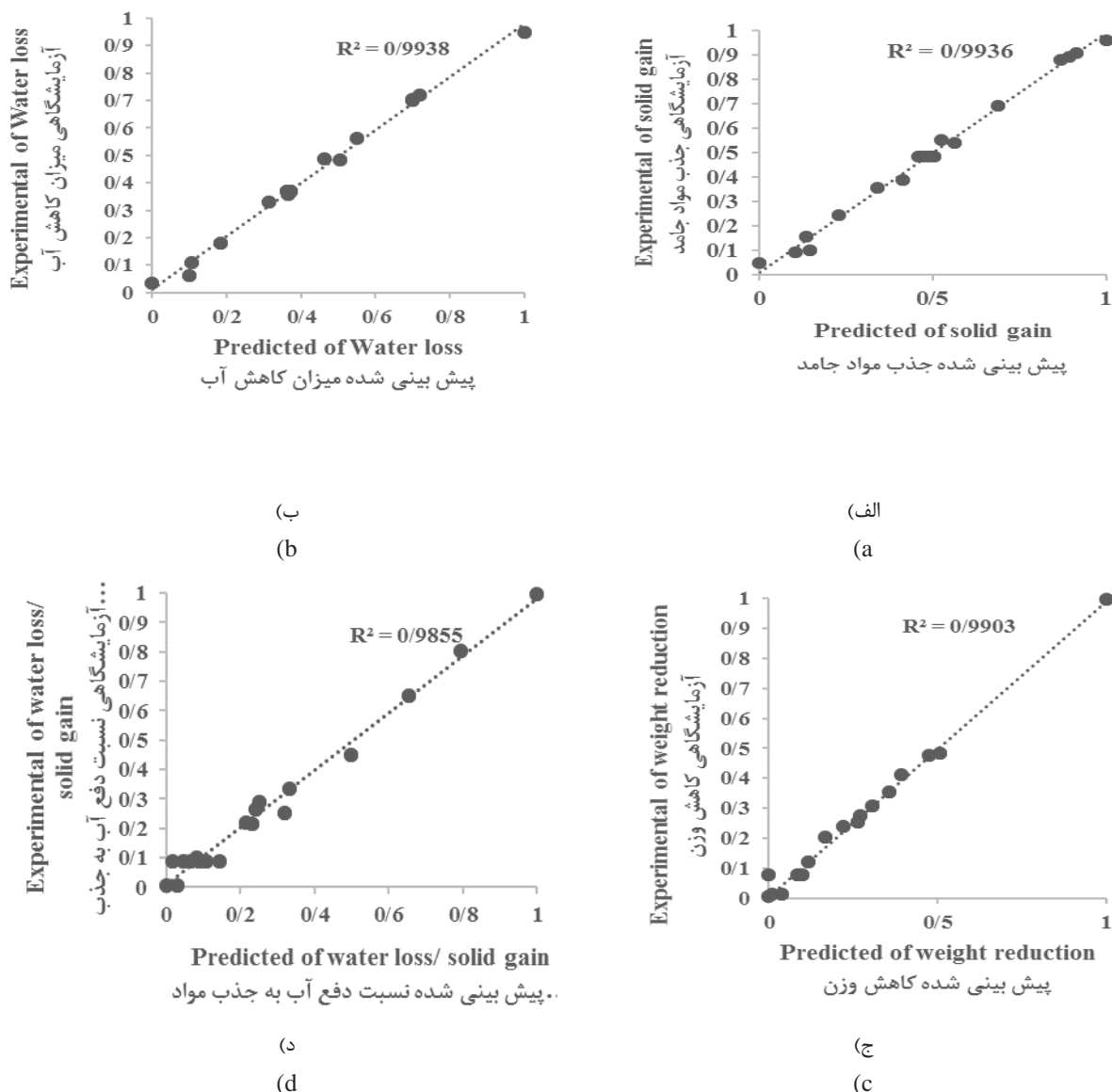
با توجه به توپولوژی شبکه عصبی انتخاب شده که به پنهان به ۴ نورون لایه خروجی) به ترتیب به صورت صورت ۳-۵-۴ است، ماتریس وزن برای لایه ورودی به لایه پنهان یک ماتریس هسین ۳×۵ (اتصال ۳ نورون لایه ورودی به ۵ نورون لایه پنهان) و برای لایه پنهان به لایه خروجی یک ماتریس هسین ۵×۴ (اتصال ۵ نورون لایه پنهان به ۴ نورون لایه خروجی) خواهد بود. در ضمن ماتریس های بایاس برای لایه پنهان (ماتریس A و B خواهند بود: به ترتیب دو ماتریس ۱×۵ و ۴×۱ خواهد بود.

$$A = \begin{pmatrix} -0.23 & -0.31 & -0.19 \\ -1.89 & -0.43 & -0.13 \\ -0.72 & -0.17 & -0.14 \\ -1.96 & -2.46 & 2.42 \\ 0.38 & -3.31 & 1.61 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} -0.36 & -0.87 & -2.49 & 0.22 & 0.35 \\ 0.30 & -1.56 & -1.41 & -0.38 & -0.05 \\ 3.88 & -4.11 & -0.60 & -2.82 & -1.16 \\ 2.97 & -1.44 & 3.46 & -2.43 & -2.84 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} -0.33 \\ -2.58 \\ 1.05 \\ 2.96 \\ 4.90 \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} 0.36 \\ -0.19 \\ 0.38 \\ 0.90 \end{pmatrix}$$

میزان بالای ضریب‌های همبستگی نمودارهای شکل ۶ (Bakhshabadi *et al.*, 2020, 2024) نیز به‌ترتیب از را که مقادیر پیش‌بینی شده توسط این شبکه بهینه در مقابل داده‌های آزمایشگاهی را برای ۴ متغیر خروجی مورد نظر نشان می‌دهد می‌توان دلیلی دیگر بر دقت بالای این مدل دانست و مشخص گردید که مدل‌های انتخابی با دقت بسیار بالایی برای پیش‌گویی داده‌های حاصل از اجرای آزمایش (R² > 0/۹۸۵) دارند. بخش‌آبادی و همکاران



شکل ۶- نمودار تغییرات پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای توپولوژی بهینه‌شده (۳-۵-۴) در مقابل مقادیر تجربی برای جذب مواد جامد (الف)، کاهش آب (ب)، کاهش وزن (ج)، نسبت دفع آب به جذب مواد جامد (د)

Figure 6- Diagram of predicted changes by the neural network for optimized topology (3-5-4) vs. experimental amount for solid gain (a), water loss (b), weight reduction (c), water loss / solid gain (d)

اندازه‌گیری میوه گندس خشک شده در طول فرآیند خشک کردن اسمزی با پیش‌تیمار مایکروویو موثرتر عمل کرد. انو و همکاران (Onu *et al.*, 2022) با مقایسه سه روش آماری انفیس، شبکه عصبی مصنوعی و سطح پاسخ برای پیش‌بینی ویژگی‌های گیاه تارو یا کوکویام خشک شده نشان دادند که روش انفیس کارایی بیشتری نسبت به دو روش دیگر دارد. بخش‌آبادی و همکاران (Bakhshabadi *et al.*, 2024) نیز با مقایسه روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ویژگی‌های طالبی خشک شده به روش اسمز می‌گویند این دو روش آماری کارایی قابل قبولی برای این منظور دارند.

مقایسه روش سطح پاسخ با شبکه عصب مصنوعی برای پیش‌بینی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری در فرآیند خشک کردن اسمزی میوه گندس با پیش‌تیمار مایکروویو

با در نظر گرفتن جدول ۲ و شکل ۶ مشخص می‌شود که هر دو روش سطح پاسخ و شبکه عصب مصنوعی به دلیل دارا بودن ضریب‌های همبستگی بالا در پیش‌بینی ویژگی‌های میوه گندس خشک شده به روش اسمز با پیش‌تیمار مایکروویو تحت تاثیر مدت زمان‌های مختلف زمان مایکروویو، زمان و دمای فرآیند اسمز مناسب هستند (جدول ۵). با این حال، مدل شبکه عصب مصنوعی نسبت به روش سطح پاسخ، برای پیش‌بینی ویژگی‌های مورد

جدول ۵- مقایسه دقت روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ویژگی‌های میوه گندس خشک شده با روش اسمز و پیش‌تیمار مایکروویو

Table 5- Comparison of the accuracy of the response surface methodology and artificial neural network in predicting the characteristics of dried candied fruit by osmotic and microwave pretreatment

R ²				
Prediction method روش پیش‌بینی	Solid gain جذب مواد جامد	Water loss کاهش آب	Water loss/Solid gain نسبت دفع آب به جذب مواد	Weight reduction کاهش وزن
سطح پاسخ Response surface	0.997	0.991	0.870	0.779
شبکه عصب مصنوعی Artificial neural network	0.994	0.994	0.990	0.986

نتیجه‌گیری کلی

مایکروویو، باید زمان مایکروویو، دما و زمان فرآیند اسمز به ترتیب ۱/۶۹ دقیقه، ۶۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۴۰ دقیقه باشد. از طرفی، مشخص گردید که شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ویژگی‌های میوه گندس خشک شده به روش اسمز با پیش‌تیمار مایکروویو کارایی بیشتری دارد. در نتیجه می‌توان با استفاده از این مدل‌ها سرعت عمل را در پیش‌بینی ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی میوه گندس خشک شده به روش اسمز با پیش‌تیمار مایکروویو افزایش و روند تصمیم‌گیری را در زمینه فرآیند خشک کردن اسمزی تسریع کرد. در این پژوهش صرفاً برخی از ویژگی‌های میوه گندس طی خشک‌کردن بررسی گردید و ویژگی‌های حسی

در این مطالعه از روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی روند تغییرات برخی از ویژگی‌های میوه گندس خشک شده به روش اسمز با پیش‌تیمار مایکروویو تحت تاثیر زمان مایکروویو، دما و زمان فرآیند اسمز استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش زمان مایکروویو، دما و زمان فرآیند اسمز ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری میوه گندس (جذب مواد جامد، کاهش میزان آب و کاهش میزان وزن) افزایش می‌یابد. نتایج تحقیق همچنین نشان داد که به منظور رسیدن به میوه گندس با کیفیت مطلوب حاصل از خشک کردن اسمز با پیش‌تیمار

(مانند طعم، رنگ، بافت و پذیرش مصرف‌کننده) و همچنین امکان ارزیابی کامل‌تر کیفیت، ایمنی و قابلیت پذیرش میوه شاخص‌های میکروبی محصول ارزیابی نشد. بنابراین، کُندس خشک‌شده فراهم گردد و نتایج حاصل با دیدگاه پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، بررسی جامع‌تری شامل کاربردی‌تری در صنایع غذایی استفاده شود. آزمون‌های حسی و آنالیزهای میکروبی نیز صورت گیرد تا

منابع

- Alp, D., and Bulantekin, Ö. 2021. The microbiological quality of various foods dried by applying different drying methods: a review. *European Food Research and Technology*, 247(6), 1333-1343.
- Angilelli, K. G., Orives, J. R., da Silva, H. C., Coppo, R. L., Moreira, I., and Borsato, D. 2015. Multicomponent diffusion during osmotic dehydration process in melon pieces: influence of film coefficient. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(4), 329-337.
- Asghari, A., Zongo, P. A., Osse, E. F., Aghajanzadeh, S., Raghavan, V., and Khalloufi, S. 2024. Review of osmotic dehydration: Promising technologies for enhancing products' attributes, opportunities, and challenges for the food industries. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(3), e13346.
- Ataee, M., Khakbaz Heshmati, M., Dehghannya, J., and Dadashi, S. 2022. Comparison of drying method (Convective hot air, Microwave, Convective-microwave, Microwave-convective) on drying kinetic of broccoli foam. *Food Research Journal*, 32(2), 73-87.
- Bajželj, B., Quested, T. E., Rööß, E., and Swannell, R. P. 2020. The role of reducing food waste for resilient food systems. *Ecosystem services*, 45, 101140.
- Bakhshabadi, H., Ganje, M., Gharekhani, M., Mohammadi-Moghaddam, T., Aulestia, C., and Morshedi, A. 2025. A review of new methods for extracting oil from plants to enhance the efficiency and physicochemical properties of the extracted oils. *Processes*, 13(4), 1124.
- Bakhshabadi, H., Ganje, M., Moghimi, M., Ghodsvali, A., and Mohammadi-Moghaddam, T. 2024. Modeling and Optimization of the Osmotic Dehydration of Cantaloupe. *J Food Chem Nanotechnol*, 10(4), 192-199.
- Bakhshabadi, H., Mirzaei, H., Ghodsvali, A., Jafari, S. M., Ziaifar, A. M., and Farzaneh, V. 2017. The effect of microwave pretreatment on some physico-chemical properties and bioactivity of Black cumin seeds' oil. *Industrial crops and products*, 97, 1-9.
- Bakhshabadi, H., Moghimi, M., Dolatabadi, Z., and Asgharipour, S. 2020. Optimization of the osmotic dehydration process of nectarine and estimation of dehydration parameters by use of artificial nature network.
- Chen, H. Y., and Chen, C. 2025. A study of the response surface methodology model with regression analysis in three fields of engineering. *Applied system innovation*, 8(4), 99.
- Çınkır, N. İ., and Süfer, Ö. 2020. Microwave drying of TURKISH red meat (watermelon) radish (RAPHANUS SATIVUS L.): effect of osmotic dehydration, pre-treatment and slice thickness. *Heat and Mass Transfer*, 56(12), 3303-3313.
- Dursun Saydam, D. 2025. Optimizing Microwave-Convectional Drying of Probiotic-Infused Apple Snacks: Impact on Quality Attributes and Predictive Modeling with Equations and Artificial Neural Network. *Journal of Food Science*, 90(6), e70348.
- Erfaniannejad Hosseini Nabadou, F., Moghimi, M., Tahmasebi, A., and Bakhshabadi, H. 2025. Optimization of Millet Malting Parameters Using Artificial Neural Network and Response Surface Methodology. *Food Science & Nutrition*, 13(5), e70214.

- Francik, S., Łapczyńska-Kordon, B., Hajos, M., Basista, G., Zawislak, A., and Francik, R. 2024. Modeling the Drying Process of Onion Slices Using Artificial Neural Networks. *Energies*, 17(13), 3199.
- Glew, R. H., Ayaz, F. A., Sanz, C., VanderJagt, D. J., Huang, H. S., Chuang, L. T., and Strnad, M. 2003. Changes in sugars, organic acids and amino acids in medlar (*Mespilus germanica* L.) during fruit development and maturation. *Food chemistry*, 83(3), 363-369.
- Haque, M. R., Hosain, M. M., Kamal, M. M., Islam, M. R., and Mondal, S. C. 2020. Optimization of osmotic dehydration parameters of banana under pulsed microwave conditions by response surface methodology. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 9(6), 1053-1059.
- Harish, A., Vivek, B. S., Sushma, R., Monisha, J., and Krishna Murthy, T. P. 2014. Effect of microwave power and sample thickness on microwave drying kinetics elephant foot yam (*Amorphophallus Paeoniifolius*). *American Journal of Food Science and Technology*, 2(1), 28-35.
- Lin, R., Wang, B., Li, B., Zeng, S., Lv, W., and Xiao, H. 2025. Microwave-assisted drying techniques to enhance the drying efficiency and quality of dried *Gastrodia elata*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(8), 4537-4548.
- Manivannan, P., and Rajasimman, M. 2011. Optimization of process parameters for the osmotic dehydration of beetroot in sugar solution. *Journal of Food Process Engineering*, 34(3), 804-825.
- Manzoor, A., Khan, M. A., Mujeebu, M. A., and Shiekh, R. A. 2021. Comparative study of microwave assisted and conventional osmotic dehydration of apple cubes at a constant temperature. *Journal of Agriculture and Food Research*, 5, 100176.
- Mari, A., Parisouli, D. N., and Krokida, M. 2024. Exploring osmotic dehydration for food preservation: Methods, modelling, and modern applications. *Foods*, 13(17), 2783.
- Nistor, D. I., Marc, R. A., and Mureşan, C. C. 2024. Phytochemistry, nutritional composition, health benefits and future prospects of *Mespilus germanica* L.(Medlar): A review. *Food Chemistry: X*, 22, 101334.
- Onu, C. E., Igbokwe, P. K., Nwabanne, J. T., and Ohale, P. E. 2022. ANFIS, ANN, and RSM modeling of moisture content reduction of cocoyam slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(1), e16032.
- Pavkov, I., Radojčin, M., Stamenković, Z., Kešelj, K., Tylewicz, U., Sipos, P., and Sedlar, A. 2021. Effects of osmotic dehydration on the hot air drying of apricot halves: Drying kinetics, mass transfer, and shrinkage. *Processes*, 9(2), 202.
- Pardo, M., and Leiva, A. 2009. Combination of technologies for the dehydration of pineapple. *Ingeniería y Competitividad*, 11(1), 57-65.
- Ramírez, C., Núñez, H., Vallejos, R., Belmonte, K., Almonacid, S., and Marra, F. 2025. Simultaneous Application of Refractance Window and Microwave Drying: A Novel Hybrid Technique for Fruit Dehydration to reducing drying time and improve bioactive compound retention. *Future Foods*, 100709.
- Reyes, V., Cahill, E., and Mis Solval, K. E. 2024. The potential for reducing food waste through shelf-life extension: Actionable insights from data digitization. *Sustainability*, 16(7), 2986.
- Salehi, F., and Kashani Nejad, M. 2017. Physicochemical and Rheological Properties of Wild Medlar Concentrate. *Journal of food science and technology (Iran)*, 13(59), 49-57.
- Song, C., Ma, X., Li, Z., Wu, T., Raghavan, G. V., and Chen, H. 2020. Mass transfer during osmotic dehydration and its effect on anthocyanin retention of microwave vacuum-dried blackberries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1), 102-109.

- Voaides, C., Radu, N., Birza, E., and Babeanu, N. 2021. Medlar—A comprehensive and integrative review. *Plants*, 10(11), 2344.
- Zhao, S. Y., An, N. N., Zhang, K. Y., Li, D., Wang, L. J., and Wang, Y. 2023. Evaluation of drying kinetics, physical properties, bioactive compounds, antioxidant activity and microstructure of *Acanthopanax sessiliflorus* fruits dried by microwave-assisted hot air drying method. *Journal of Food Engineering*, 357, 111642.

Original Research

Comparison of Artificial Neural Network and Response Surface Methodology in Predicting Changes in Some Characteristics of Osmotic Dried Candied Fruit with Microwave Pretreatment

Alireza Ghodsvali*, Masumeh Moghimi, Mohammad Ganje, Hamid bakhshabadi

*Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.

Email: Ghodsvali@gmail.com

Received: 8 December 2025 Accepted: 26 May 2026

[http://doi: 10.22092/fooder.2026.371675.1441](http://doi.org/10.22092/fooder.2026.371675.1441)

Abstract

Today, the use of non-thermal methods such as osmotic drying, dehydration using ultrasound, and microwave are increasing for the production of food products. This study aimed to predict the trend of changes in some characteristics of osmotic dried medlar fruit with microwave pretreatment under the influence of different microwave times (0 to 4 min), temperatures (40 to 60°C), and osmotic process times (60 to 240 min). To predict the trend of changes in these characteristics, response surface methodology with a central composite design and artificial neural network was utilized. It was determined that the optimal microwave time, temperature, and osmotic process time should be 1.69 min, 60°C, and 240 min, respectively, to minimize the solid gain and to maximize the percentage of water loss and the of water loss/solid gain. Under these conditions, the solid gain was 15.17%, water loss was 24.21%, the water loss/solid gain was 1.63, and weight reduction was 10.00%. Through the examination of different networks, the feedforward back-diffusion network with 4-5-3 topologies was found to be the best neural model, with a correlation coefficient greater than 0.996 and a mean square error less than 0.001. The hyperbolic tangent activation function, hopping learning model, and 1000 learning cycles were also determined to be optimal. Comparing the correlation coefficients of the models obtained from the response surface method and the artificial neural network, it was concluded that the artificial neural network method was more effective in predicting the trend of changes in the characteristics of dried medlar fruit through the osmotic process with microwave pretreatment.

Keywords: Artificial neural network, Medlar, Drying, Microwave, Osmotic