



بهینه‌سازی ساختار شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی پارامترهای فرآیند آبگیری به روش اسمزی- فراصوت از کیوی

فخرالدین صالحی^{۱*} و رعنا چراغی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۲۹

^۱ دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

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

چکیده

زمینه مطالعاتی: یکی از مهمترین کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی، طراحی مدلی است که بتوان براساس آن مقدار یک یا چند متغیر وابسته را به کمک متغیرهای مستقل پیش‌بینی کرد. الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های بهینه‌سازی مسائل و مدل‌ها است که اساس آن بر انتخاب طبیعی و برخی از مفاهیم مهم از علم ژنتیک استوار است. هدف: در این مطالعه از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبگیری مجدد برش‌های کیوی آبگیری شده به روش اسمز-فراصوت استفاده شد. **روش کار:** ساختار الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی با ۳ ورودی زمان اعمال فراصوت (در هشت زمان ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ دقیقه)، غلظت محلول ساکارز (در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه بریکس) و توان فراصوت (در سه سطح ۰، ۷۵ و ۱۵۰ وات)، برای پیش‌بینی ویژگی‌های برش‌های کیوی آبگیری شده، توسعه یافت. **نتایج:** میانگین درصد کاهش رطوبت برای نمونه شاهد (بدون اعمال فراصوت) ۲۱/۹۶ درصد بود. با افزایش توان فراصوت دستگاه به ۱۵۰ وات، میانگین درصد کاهش رطوبت نمونه‌ها ۲۷/۵۱ درصد افزایش یافت ($P < 0/05$). با افزایش غلظت محلول اسمزی از ۲۰ به ۴۰ درصد، میانگین درصد کاهش رطوبت نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری از ۱۶/۵۸ درصد به ۳۵/۳۳ درصد افزایش یافت ($P < 0/05$). مقادیر ضرایب تبیین (F) محاسبه‌شده برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبگیری مجدد برش‌های کیوی آبگیری شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب برابر ۰/۹۸۳، ۰/۹۸۹، ۰/۹۹۲ و ۰/۹۷۹ بود. براساس نتایج آزمون آنالیز حساسیت، پارامتر آبگیری مجدد، حساس‌ترین پارامتر به تغییرات غلظت محلول اسمزی و افزایش زمان اعمال فراصوت بود. **نتیجه‌گیری نهایی:** نتایج به دست آمده از این روش نشان می‌دهد که روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی یک راه‌حل مناسب برای مدل‌سازی فرآیند آبگیری از کیوی به روش اسمز-فراصوت است.

واژگان کلیدی: آبگیری مجدد، آنالیز حساسیت، جذب مواد جامد، ساکارز

مقدمه

مصنوعی و الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی عملکرد پسته، به میزان ۹۰٪ بوده است (پورمحمدی و همکاران ۲۰۱۹). پیش‌بینی نسبت رطوبت برش‌های خشک‌شده گوجه‌فرنگی با استفاده از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک توسط مختاریان و همکاران (۲۰۲۱) انجام شده است. براساس نتایج این پژوهش، مدل الگوریتم ژنتیک دقت بالاتری را به‌منظور پیش‌بینی نسبت رطوبت گوجه‌فرنگی خشک با ضریب همبستگی بالا ارائه داده است.

خشک‌کردن محصولات کشاورزی یکی از روش‌های فرآوری است که باعث کاهش حجم محصول، افزایش قابلیت نگهداری و کاهش رطوبت و فعالیت آبی محصول خشک‌شده می‌گردد (خاکبازحشمتی و سیفی‌مقدم ۱۳۹۶؛ ساترابی و همکاران ۲۰۲۱). آبیگری اسمزی یکی از روش‌های مورد استفاده جهت کاهش محتوای رطوبت در میوه‌ها و سبزی‌های مختلف بوده است که طی آن رطوبت موجود در بافت محصول توسط غوطه‌ور نمودن آنها در محلول‌های هایپرتونیک (قندی یا نمکی غلیظ) به‌طور نسبی و بدون تغییر فاز خارج می‌شود و نیروی مورد نیاز را جهت انتقال جرم با ایجاد فشار اسمزی فراهم می‌شود (صالحی و همکاران ۲۰۱۵؛ صالحی ۲۰۲۰a). گروهی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که استفاده ترکیبی از فرآیندهای آبیگری اسمزی و امواج فراصوت^۴ به‌عنوان پیش‌تیمار قبل از فرآیند خشک‌کردن، باعث افزایش کیفیت محصول نهایی خشک‌شده و همچنین افزایش سرعت فرآیند خشک‌کردن می‌شود. پژوهشگران استفاده از این روش برای بهبود فرآیند آبیگری از میوه‌ها و سبزی‌های مختلف را بررسی نموده و در مجموع استفاده از این روش را برای بهبود آبیگری از این محصولات کشاورزی توصیه کرده‌اند (فرناندز و همکاران ۲۰۰۸؛ آواد و همکاران ۲۰۱۲؛ مختاریان و همکاران ۲۰۱۷؛ آذرپژوه و همکاران ۲۰۱۹؛ صالحی و همکاران ۲۰۱۵؛ صالحی

امروزه روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای حل مسائل پیچیده، پژوهشگران را برای استفاده از این روش‌ها در مدل‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری ترغیب کرده است. یکی از این پیشرفت‌ها در زمینه هوش مصنوعی، شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ (ANN) هستند که به‌عنوان ابزار قدرتمندی در پردازش اطلاعات غیرخطی، قادر به انجام موفقیت‌آمیز اعمالی مانند تقریب توابع غیرخطی، تشخیص الگوها و پیش‌بینی هستند (حافظی و همکاران ۲۰۲۰؛ صالحی و ساترابی ۱۴۰۱). شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم‌های ژنتیک^۲ (GA) و روش‌های ترکیب مدل‌ها، از جمله محبوب‌ترین فن‌های هوش محاسباتی هستند (پورمحمدی و همکاران ۲۰۱۹). نتایج به‌دست‌آمده توسط میرعبداللهی و ابوترابی (۲۰۱۹) نشان داد که ترکیب شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک یک روش کارآمد برای بهینه‌سازی فرآیند است و این روش می‌تواند برای دیگر فرآیندهای پیشرفته نیز اصلاح و به کار گرفته شود.

الگوریتم ژنتیک بخشی از نظریه محاسبه تکاملی است که در حال حاضر به‌عنوان بخشی از هوش مصنوعی به‌سرعت در حال رشد می‌باشد. از نظر کاربردی، الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های بهینه‌سازی مسائل است که اساس آن بر انتخاب طبیعی و برخی از مفاهیم مهم از علم ژنتیک استوار است (تقی‌زاده و همکاران ۲۰۱۵). در پژوهشی، پورمحمدی و همکاران (۲۰۱۹) اثرات خصوصیات خاک، کیفیت آب، رویکردهای مدیریتی را بر عملکرد پسته رفسنجان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بهینه‌شده با الگوریتم ژنتیک و مدل رگرسیون خطی چندگانه^۳ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل رگرسیونی تنها به مقدار ۲۸٪ توانسته است تغییرات عملکرد محصول را پیش‌بینی نماید؛ درحالی‌که دقت مدل ترکیبی شبکه عصبی

1- Artificial neural network (ANN)

2- Genetic algorithm (GA)

3- Multiple linear regression (MLR)

4- Ultrasound

مواد و روش‌ها

- آماده‌سازی ماده اولیه

برای انجام این پژوهش ابتدا برش‌های کیوی با ضخامت ۵ میلی‌متر توسط اسلایسر صنعتی (جرمی، ایتالیا)^۱ برش خوردند و بعد از توزین، به سرعت داخل دستگاه حمام فراصوت حاوی محلول اسمزی (ساکارز) قرار گرفتند. متوسط وزن برش‌های کیوی تهیه شده ۵/۵ گرم بود که به‌طور میانگین دارای رطوبت اولیه ۸۴ درصد بر مبنای مرطوب بودند. رطوبت نمونه‌ها مطابق روش AOAC (۲۰۱۰) از طریق قرار دادن نمونه‌ها در آون و دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس تا دستیابی به وزن ثابت اندازه‌گیری شدند.

- فرآیند آبیگری اسمزی

برای اعمال تیمار اسمز-فراصوت بر برش‌های کیوی هنگام آبیگری اسمزی، از دستگاه حمام فراصوت ساخت شرکت بکر^۲ (ایران) مدل vCLEAN1-L6 استفاده شد. این دستگاه دارای ژنراتور فراصوت قدرتمند با فرکانس کاری ۴۰ کیلوهرتز بوده و امکان تنظیم دماهای مختلف و همچنین انتخاب توان فراصوت دستگاه بر روی صفر، ۷۵ و ۱۵۰ وات وجود دارد. برای تهیه محلول‌های اسمزی از ساکارز خالص استفاده شد. دمای حمام فراصوت به‌صورت ثابت بر روی ۵۰ درجه سلسیوس تنظیم شد و بعد از رسیدن دمای محلول‌های اسمزی با غلظت‌های مشخص به این دما، نمونه‌ها داخل دستگاه قرار گرفته و فرآیند آبیگری شروع می‌شد (صالحی و همکاران ۲۰۲۲).

در این پژوهش، اثر زمان اعمال فراصوت (مدت زمان تماس نمونه و محلول اسمزی) در هشت سطح ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ دقیقه، اثر غلظت محلول اسمزی حاوی ساکارز در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه بریکس و اثر توان فراصوت در سه سطح ۰، ۷۵ وات و ۱۵۰ وات بر کارایی فرآیند آبیگری اسمزی برش‌های

۲۰۲۰b؛ صالحی و همکاران ۲۰۲۲). فرناندز و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر اسمز و فراصوت را بر ساختار بافت سلولی آناناس در طول آبیگری بررسی کردند. این پژوهشگران گزارش کردند که استفاده از فراصوت منجر به تشکیل کانال‌های میکروسکوپی می‌شود که مقاومت کمتری در برابر نفوذ آب و قند دارند. غریبی‌تهرانی و همکاران (۲۰۲۰) سینتیک انتقال جرم با استفاده از تیمار فراصوت-اسمز در برش‌های پیاز زرد را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت محلول اسمزی، زمان آبیگری و میزان شدت فراصوت بر انتقال جرم به‌طور لگاریتمی تأثیر معنی‌داری داشته است. همچنین فرآیند فراصوت موجب انتقال جرم بیشتر مواد جامد شده است. مختاریان و همکاران (۲۰۱۷) بررسی عملکرد نوع آرایش شبکه عصبی پرسپترون در پیش‌بینی سینتیک انتقال جرم آبیگری فراصوت-اسمز ترب را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از آرایش شبکه نوع دوم (II) با تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک نسبت به آرایش شبکه نوع اول (I) با تابع لگاریتم سیگموئیدی، توانست پارامترهای آبیگری فراصوت-اسمز ترب را با کارایی بیشتری پیش‌بینی نماید.

الگوریتم ژنتیک ابزاری کارآمد برای مسائل بهینه‌سازی مدل است و زمانی استفاده می‌شود که فضای مدل پیچیده باشد. بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان داد که پژوهشی مبنی بر بررسی استفاده از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی فرآیند آبیگری از برش‌های کیوی به روش اسمز- فراصوت انجام نگرفته است. لذا هدف از این مطالعه استفاده از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی اثر زمان اعمال فراصوت، غلظت محلول اسمزی (حاوی ساکارز) و توان فراصوت بر درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبیگری مجدد برش‌های کیوی تیمار شده توسط فرآیند آبیگری اسمز-فراصوت می‌باشد.

1- Girmi, Italy.

2- Laboratory, Ultrasonic, vCLEAN1-L6, Backer, Iran.

در این رابطه، پارامترهای WL درصد کاهش آب در مرحله اسمز، W_0 رطوبت اولیه نمونه (g) و W_t رطوبت نمونه بعد از اسمز (g) می‌باشند.

- محاسبه آبیگری مجدد نمونه‌های خشک‌شده

برای اندازه‌گیری مقدار باز جذب آب نمونه‌های خشک‌شده، ابتدا پیش‌تیمار اسمز-فراصوت بر نمونه‌ها اعمال شد و سپس برش‌های کیوی به روش هوای داغ خشک شدند. برای محاسبه پارامتر آبیگری مجدد، نمونه‌های خشک توزین و درون آب با دمای ۵۰ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. سپس، بعد از گذشت زمان ۲۰ دقیقه از آب خارج‌شده و توزین با استفاده از ترازوی دیجیتالی ساخت شرکت کیا مدل SL1000 با دقت یک صدم گرم انجام شد. تمام تیمارها در سه تکرار انجام و میانگین آن‌ها گزارش شد. نسبت باز جذب آب توسط معادله ۴ محاسبه شد.

$$RR = \frac{M}{M_0} \times 100 \quad (4)$$

در این رابطه پارامترهای M وزن نمونه بعد از باز جذب آب و M_0 وزن نمونه خشک می‌باشند.

- آنالیز آماری

در این پژوهش اثر فرآیند اسمز-فراصوت بر کارایی آبیگری اسمزی برش‌های کیوی بررسی شد. این پژوهش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS21 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام و برای مقایسه میانگین پاسخ‌های مشاهده شده، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از برنامه (۲۰۰۷) Excel استفاده شد.

- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

برای مدل‌سازی اثر زمان اعمال فراصوت، غلظت محلول اسمزی و توان فراصوت، بر درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبیگری مجدد برش‌های کیوی تیمار شده توسط فرآیند آبیگری اسمز-فراصوت به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی

کیوی بررسی شد. حجم محلول اسمزی موجود در دستگاه فراصوت چهار لیتر بود. بعد از طی شدن زمان آبیگری اسمزی، نمونه‌ها از محلول خارج شده و بر روی یک دستمال کاغذی جهت حذف شدن محلول سطحی قرار گرفت. بعد از حذف رطوبت سطحی، مجدداً نمونه‌ها توزین گردید. سپس جهت تعیین میزان کاهش رطوبت و جذب مواد جامد، نمونه‌های خارج شده از محلول اسمزی در داخل آون فن‌دار (۵۵ لیتری، شیمان، ایران) با دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند.

- محاسبه پارامترهای کارایی فرآیند اسمزی

درصد کاهش وزن (WR)^۱، درصد جذب مواد جامد (SG)^۲ و درصد کاهش آب (WL)^۳ برش‌های کیوی بر اساس توزین آنها در مراحل مختلف (قبل از آبیگری اسمزی، بعد از اسمز و بعد از خشک‌کردن در آون) از طریق معادلات زیر محاسبه گردید (صالحی و همکاران ۲۰۲۲). توزین نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی ساخت شرکت کیا مدل SL1000 با دقت یک صدم گرم انجام شد.

$$WR = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، پارامترهای WR درصد کاهش وزن برش‌های کیوی در مرحله اسمز، A_0 جرم اولیه نمونه برش‌های کیوی (g) و A_t جرم برش‌های کیوی بعد از اسمز (g) می‌باشند.

$$SG = \frac{S_t - S_0}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه، پارامترهای SG درصد جذب مواد جامد، S_t مقدار ماده جامد نمونه بعد از اسمز (g) و S_0 مقدار ماده جامد نمونه اولیه (g) می‌باشند.

$$WL = \frac{W_0 - W_t}{A_0} \times 100 = \frac{W_0 - (A_t - S_t)}{A_0} \quad (3)$$

نتایج و بحث

- پارامترهای فرآیند آبیگری از کیوی به روش اسمزی -

فراصوت

در جدول ۱، اثر توان فراصوت و غلظت محلول اسمزی (بریکس) بر درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبیگری مجدد برش‌های کیوی تیمار شده توسط فرآیند آبیگری اسمزی-فراصوت گزارش شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، با افزایش توان فراصوت، درصد کاهش وزن نمونه‌ها بیشتر شده است که به دلیل خروج بیشتر رطوبت از نمونه‌ها بوده است. با افزایش توان فراصوت دستگاه به ۱۵۰ وات، میانگین درصد کاهش وزن نمونه‌ها ۱۹/۸۵ درصد افزایش یافت ($P < 0/05$). همچنین، با افزایش غلظت محلول اسمزی، به دلیل افزایش فشار اسمزی، رطوبت بیشتری از برش‌های کیوی خارج شد و در نتیجه تغییرات وزن برای نمونه‌هایی که در معرض محلول‌های اسمزی غلیظ‌تر بودند، بیشتر بود. با افزایش غلظت محلول اسمزی از ۲۰ به ۴۰ درصد، میانگین درصد کاهش وزن نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری از ۱۰/۳۰ درصد به ۲۲/۷۲ درصد افزایش یافت ($P < 0/05$).

استفاده از امواج فراصوت پیش از فرآیند خشک‌کردن، افزایش ضریب نفوذ رطوبت، کاهش زمان فرآیند خشک‌کردن و افزایش آهنگ انتقال جرم را به همراه دارد (غریبی‌تهرانی و همکاران ۲۰۲۰). همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش توان فراصوت، رطوبت بیشتری از برش‌های کیوی خارج شد و در نتیجه درصد کاهش آب برای این نمونه‌ها بیشتر شد. میانگین درصد کاهش رطوبت برای نمونه شاهد (بدون اعمال فراصوت) ۲۱/۹۶ درصد بود. با افزایش توان فراصوت دستگاه به ۱۵۰ وات، میانگین درصد کاهش رطوبت نمونه‌ها ۲۷/۵۱ درصد افزایش یافت ($P < 0/05$). با افزایش غلظت محلول اسمزی نیز به دلیل افزایش فشار اسمزی، رطوبت بیشتری از برش‌های کیوی خارج

مصنوعی، از شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون^۱ پیشخور استفاده شد. در این مطالعه سه ورودی (زمان اعمال فراصوت، غلظت محلول اسمزی و توان فراصوت) و چهار خروجی (درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبیگری مجدد) در نظر گرفته شد. تعداد نرون‌های لایه پنهان، وابستگی کامل به نوع کاربرد و شرایط تعیین پارامترهای شبکه دارد (ساترابی و همکاران ۲۰۲۱) و در این مطالعه تعداد نرون لایه پنهان بین ۱ تا ۲۰ در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار نروسولوشن^۲ (نسخه ۵) جهت مدل‌سازی استفاده شد. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک^۳ (معادله ۵) به دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید. در این نرم‌افزار از قاعده یادگیری لونیبرگ-مارکواریت^۴ برای ایجاد بهترین ساختار شبکه استفاده شد. بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۴۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها است. ۲۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش‌دیده استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (۴۰ درصد) استفاده گردید (ساترابی و همکاران ۲۰۲۱). به‌منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده‌شده پیش‌بینی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی^۶ استفاده گردید (ساترابی و همکاران ۲۰۲۱).

$$\text{Tanh} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (5)$$

- 1- Perceptron
- 2- Neurosolution software (Excel software release 6.0), NeuroDimension, Inc., USA
- 3- Hyperbolic tangent function
- 4- Levenberg-Marquardt (LM)
- 5- Topology
- 6- Correlation coefficient (r)

درصد افزایش یافت ($P < 0.05$). با افزایش غلظت محلول اسمزی نیز به دلیل افزایش غلظت محیط، برش‌های کیوی ساکارز بیشتری را جذب خود کرده و در نتیجه درصد جذب مواد جامد محاسبه شده برای این نمونه‌ها افزایش یافت. با افزایش غلظت محلول اسمزی از ۲۰ به ۴۰ درصد، میانگین درصد جذب مواد جامد نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری از ۶/۲۸ درصد به ۱۲/۶۰ درصد افزایش یافت ($P < 0.05$). فرناندز و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که به‌کارگیری فراصوت و اسمز به دلیل تغییر در ساختار بافت میوه سبب افزایش میزان دفع آب و جذب مواد جامد می‌گردد (فرناندز و همکاران ۲۰۰۹).

شد و در نتیجه درصد کاهش آب برای نمونه‌هایی که در معرض محلول‌های اسمزی غلیظتر بوده‌اند، بیشتر بوده است. با افزایش غلظت محلول اسمزی از ۲۰ به ۴۰ درصد، میانگین درصد کاهش رطوبت نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری از ۱۶/۵۸ درصد به ۳۵/۳۳ درصد افزایش یافت ($P < 0.05$).

جدول ۱ نشان می‌دهند که با افزایش توان فراصوت، درصد جذب مواد جامد نمونه‌ها بیشتر شده که این موضوع نشان دهنده افزایش جذب ساکارز توسط نمونه‌های آبیگری شده است. با افزایش توان فراصوت دستگاه از صفر به ۱۵۰ وات، میانگین درصد کاهش جذب مواد جامد نمونه‌ها از ۷/۹۴ درصد به ۱۰/۷۰

جدول ۱- تاثیر سطوح توان فراصوت و غلظت محلول اسمزی بر کاهش وزن (%)، کاهش آب (%)، جذب مواد جامد محلول (%) و آبیگری مجدد (% برش‌های کیوی

Table 1- The impacts of sonication power levels and osmotic solution concentrations on the weight reduction (%), water loss (%), soluble solids gain (%) and rehydration (%) of kiwifruit slices

| Sonication power (W) | Concentration (°Brix) | Weight reduction (%) | Water loss (%) | Soluble solids gain (%) | Rehydration (%) |
|----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 0 | 20 | 10.27±0.48 ^{de} | 13.29±0.78 ^f | 3.02±0.31 ^f | 242.76±2.85 ^a |
| 75 | 20 | 10.65±0.27 ^{de} | 18.01±0.81 ^e | 7.36±0.54 ^e | 187.78±9.47 ^b |
| 150 | 20 | 9.99±0.49 ^e | 18.43±1.23 ^{de} | 8.44±0.77 ^{de} | 160.85±3.93 ^{cd} |
| 0 | 30 | 11.47±0.51 ^{de} | 20.60±0.66 ^{de} | 9.13±0.27 ^{cd} | 157.94±2.31 ^{cd} |
| 75 | 30 | 11.87±0.44 ^d | 21.32±0.73 ^{cd} | 9.45±0.32 ^{cd} | 167.70±1.45 ^c |
| 150 | 30 | 13.90±0.25 ^c | 23.85±0.88 ^c | 9.95±0.65 ^c | 171.46±15.65 ^c |
| 0 | 40 | 20.34±1.36 ^b | 32.01±2.74 ^b | 11.67±1.41 ^b | 148.70±4.52 ^{de} |
| 75 | 40 | 21.29±1.51 ^b | 33.72±2.89 ^b | 12.43±1.39 ^{ab} | 150.02±8.91 ^{de} |
| 150 | 40 | 26.54±1.35 ^a | 40.25±1.88 ^a | 13.71±0.66 ^a | 137.10±8.10 ^e |

*Means within a column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

($P < 0.05$). با افزایش غلظت محلول اسمزی از ۲۰ به ۴۰ درصد نیز میانگین درصد آبیگری مجدد نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری از ۱۹۷/۱۳ درصد به ۱۴۵/۲۸ درصد کاهش یافت ($P < 0.05$). فرناندز و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که با افزایش غلظت محلول قندی، کانال‌های میکروسکوپی با شکر اشباع شده و مقاومت انتقال جرم اضافی برای جذب یا انتشار آب و شکر از طریق کانال‌ها ایجاد می‌شود، لذا با افزایش غلظت محلول اسمزی، آبیگری مجدد نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، پارامترهای توان فراصوت و غلظت محلول اسمزی باعث تغییر درصد آبیگری مجدد برش‌های کیوی خشک‌شده شده‌اند. با افزایش شدت فراصوت، کانال‌های میکروسکوپی حاوی آب آزاد تحت فشار قرار گرفته و شکل اولیه خود را از دست می‌دهند، لذا درصد آبیگری مجدد نمونه‌های خشک‌شده در توان‌های فراصوت بالا، کمتر می‌شود. بر اساس نتایج این پژوهش، با افزایش توان فراصوت دستگاه به ۱۵۰ وات، میانگین درصد آبیگری مجدد نمونه‌ها ۱۷/۰۴ درصد کاهش یافت

نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

در این مطالعه به منظور پیش‌بینی درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبیاری مجدد برش‌های کیوی تیمار شده توسط فرآیند آبیاری اسمز-فراصوت به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی از نرم‌افزار نروسولوشن استفاده شد. زمان اعمال فراصوت، غلظت محلول اسمزی و توان فراصوت به عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبیاری مجدد در طی فرآیند آبیاری اسمز-فراصوت نیز به عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۴۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد (جدول ۲). ۲۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (۴۰ درصد) استفاده گردید.

نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۸ نرون در لایه پنهان می‌تواند به خوبی پارامترهای فرآیند آبیاری از کیوی به روش اسمز- فراصوت را پیش‌بینی نماید. مقادیر خطاهای محاسبه شده (میانگین مربعات خطا^۱، میانگین مربعات خطا نرمالیزه شده^۲ و میانگین خطا مطلق^۳) و ضرایب تبیین^۴ در پیش‌بینی داده‌های آموزش توسط الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بهینه با ۸ نرون در لایه پنهان در جدول ۳ گزارش شده است. براساس نتایج گزارش شده در این جدول، مقادیر ضرایب تبیین (r) محاسبه شده برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبیاری

مجدد برش‌های کیوی آبیاری شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب برابر ۰/۹۸۳، ۰/۹۸۹، ۰/۹۹۲ و ۰/۹۷۹ است. مختاریان و همکاران (۲۰۱۷) بهترین چیدمان شبکه عصبی برای پیش‌بینی سینتیک انتقال جرم آبیاری فراصوت-اسمز ترب را ۱۷ نرون در لایه پنهان به دست آوردند. این شبکه توانست مقادیر جذب مواد جامد و کاهش آب ترب را با ضرایب تبیین ۰/۹۹۶ و ۰/۹۹۳ پیش‌بینی نماید.

الگوریتم ژنتیک از طریق شبیه‌سازی فرایندهای ژنتیک طبیعی می‌کوشد تا مسائل دنیای واقعی را حل کند. این الگوریتم از لحاظ محاسباتی ساده اما قدرتمند است و فرضیات محدودکننده در خصوص فضای جستجو، آن را محدود نمی‌کند (منجمی و همکاران ۲۰۰۹؛ دلو و حیدری ۲۰۱۸). مقدار میانگین مربعات خطا در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۱ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همان نسل‌های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل ۳ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد که نشان دهنده توانایی روش الگوریتم ژنتیک در بهینه کردن پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی است. یوسفی و همکاران (۲۰۱۹) سینتیک خشک‌کردن مادون قرمز برش‌های میوه به و مدل‌سازی آن با روش الگوریتم ژنتیک- شبکه‌های عصبی مصنوعی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۷ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع انتقال تانژانت هیپربولیک می‌تواند درصد رطوبت در طی فرآیند خشک‌کردن را با دقت بالایی پیش‌گویی کند.

1 - Mean squared error (MSE)

2 - Normalized mean squared error (NMSE)

3 - Mean absolute error (MAE)

4 - Correlation coefficient (r)

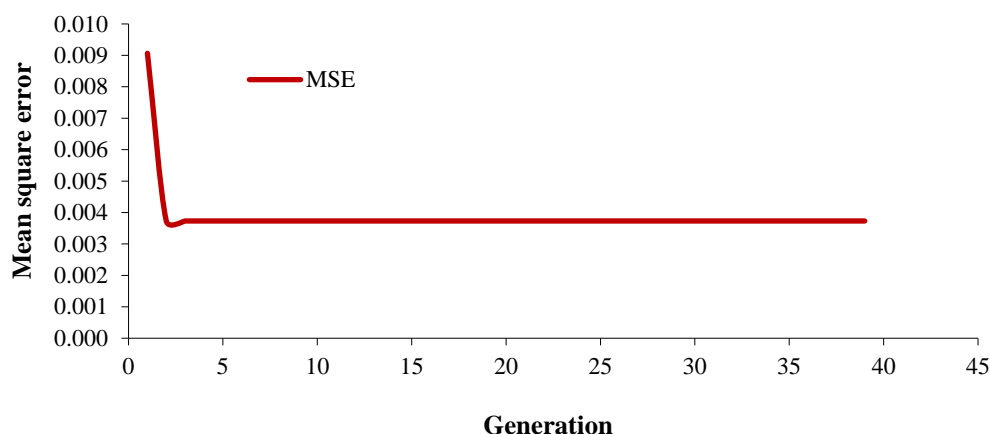
جدول ۲- مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

| 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 | 8 | 40% | 20% | 40% |

جدول ۳- مقادیر خطا در پیش‌بینی داده‌های ارزیابی توسط الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بهینه با ۸ نرون در یک لایه پنهان

Table 3- The error values in prediction of testing data by optimal genetic algorithm-artificial neural network with 8 neurons in a hidden layer

| Error | Weight reduction (%) | Water loss (%) | Soluble solids gain (%) | Rehydration (%) |
|-------------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|-----------------|
| Mean squared error | 1.531 | 2.873 | 0.451 | 259.64 |
| Normalized Mean squared error | 0.034 | 0.027 | 0.028 | 0.045 |
| Mean absolute error | 0.910 | 1.240 | 0.516 | 10.301 |
| Minimum absolute error | 0.016 | 0.056 | 0.012 | 0.349 |
| Maximum absolute error | 4.183 | 4.290 | 1.701 | 71.446 |
| Correlation coefficient (r) | 0.983 | 0.989 | 0.992 | 0.979 |



شکل ۱- بهترین برازش میانگین مربعات خطا (MSE) در مقابل تولید نسل طی آموزش و اعتبار سنجی توسط الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

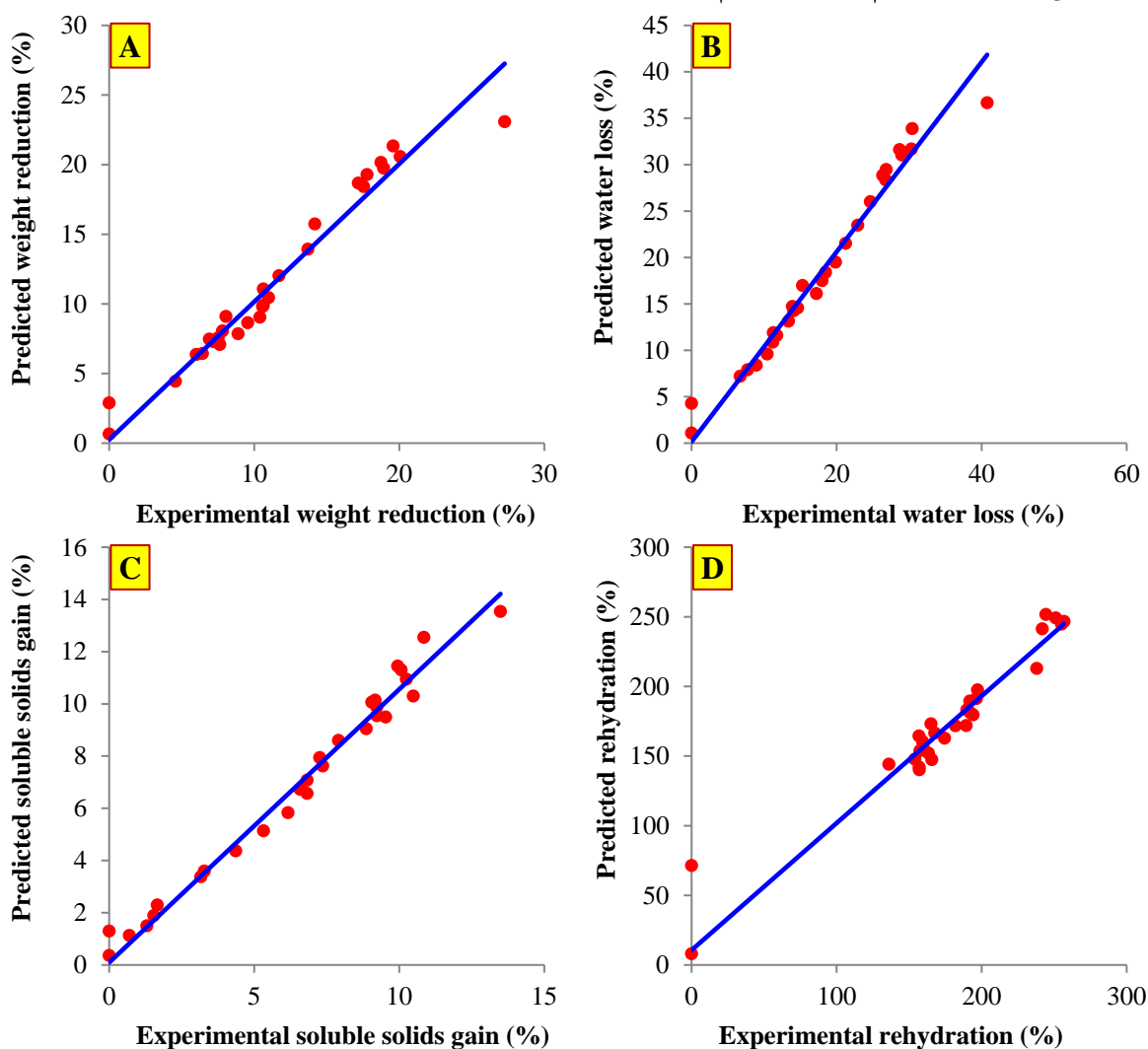
Figure 1- Best fitness of mean square error (MSE) versus generation during training and validation by genetic algorithm-artificial neural network

اسمز-فراصوت توسط الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی بهینه (۳/۸/۴) در شکل ۲ نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده کارایی بالای روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

الگوریتم‌های ژنتیک، اغلب گزینه خوبی برای روش‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون هستند. مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۴۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیش‌بینی شده درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبیگری مجدد برش‌های کیوی تیمار شده توسط فرآیند آبیگری

آموزشی ورودی را جلو برده سپس خطای مربوطه را محاسبه کرده و به عقب انتشار داده و مجدداً وزن‌ها را تنظیم می‌کند (حافظی و همکاران ۲۰۲۰). در جدول ۴، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه دارای ۸ نرون در لایه پنهان که به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی آموزش دیده است، گزارش شده است.

آموزش شبکه به معنی تعیین وزن‌ها و پارامترهای شبکه است، به طوری که خروجی شبکه به خروجی واقعی بسیار نزدیک باشد. بدین منظور باید پارامترها و وزن‌های بهینه را به دست آورد. اولین گام در آموزش یک شبکه عصبی، ارائه الگوهایی است که شبکه بتواند با استفاده از آنها آموزش داده شود. الگوریتم‌های بسیاری به منظور آموزش وزن‌های شبکه عصبی وجود دارد. در برخی از این الگوریتم‌ها، الگوریتم الگوی



شکل ۲- مقادیر پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های تجربی کاهش وزن (A)، کاهش آب (B)، جذب مواد جامد محلول (C) و آبگیری مجدد (D) برش‌های کیوی در طول آبگیری اسمزی

Figure 2. Predicted values versus experimental data of weight reduction (A), water loss (B), soluble solids gain (C) and rehydration (D) of kiwifruit slices during osmotic dehydration

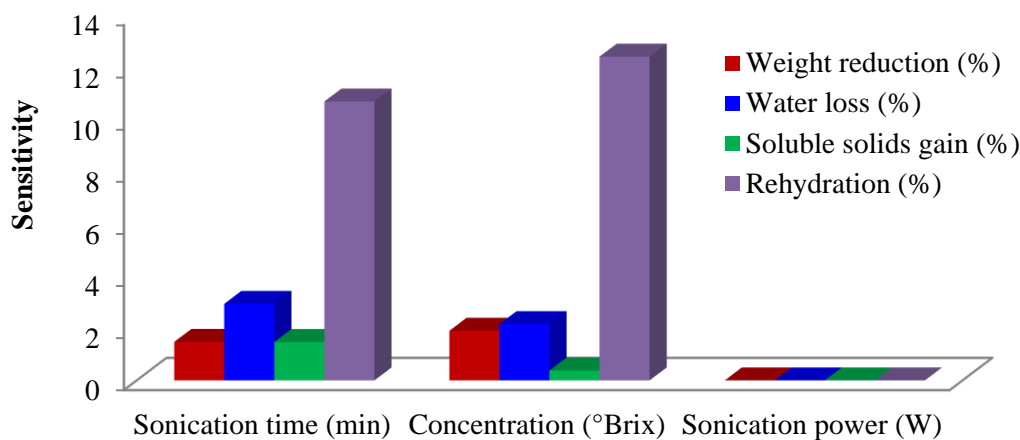
جدول ۴- مقادیر وزن و بایاس الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده (۴-۸-۳)

Table 4- The weight and bias values of optimized genetic algorithm-artificial neural network (3-8-4)

| Hidden neurons | Bias | Input neurons | | | Output neurons | | | |
|----------------|---------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-------------------------|-----------------|
| | | Sonication time (min) | Concentration (°Brix) | Sonication power (W) | Weight reduction (%) | Water loss (%) | Soluble solids gain (%) | Rehydration (%) |
| 1 | 2.9325 | 0.2155 | 2.2134 | 1.8993 | 0.5227 | -0.3176 | 2.4881 | -1.5945 |
| 2 | 1.1920 | 0.7835 | 0.0177 | 0.1127 | 0.0765 | -1.0240 | -1.0989 | 1.1510 |
| 3 | -2.1057 | 0.2753 | 1.9258 | 0.5436 | 0.5768 | -0.1414 | 2.0271 | -1.5294 |
| 4 | -7.3181 | -7.8955 | 0.0425 | -0.0935 | 0.1352 | -0.7878 | -0.8217 | 1.0545 |
| 5 | 1.9596 | 4.0765 | -3.4499 | 0.6691 | 0.6808 | 1.2787 | 1.2195 | -1.4732 |
| 6 | 0.7249 | 0.0311 | -1.1066 | 1.7060 | 0.2343 | -0.3645 | -0.3296 | 0.9527 |
| 7 | -0.6170 | 0.0025 | 2.8398 | -1.5264 | -0.5972 | -2.0516 | 0.0716 | -3.0870 |
| 8 | 0.6022 | 0.3763 | 0.2325 | -0.0506 | 0.0207 | -0.0718 | -0.2689 | 0.8734 |
| Bias | | | | | -0.1980 | -0.6658 | -1.5574 | -0.8975 |

مواد جامد دارد و همچنین غلظت محلول اسمزی بی‌شتر تأثیر را بر درصد کاهش وزن و درصد آبداری مجدد برش‌های کیوی تیمار شده توسط فرآیند آبداری اسمز-فراصوت داشته است. یوسفی و همکاران (۲۰۱۹) سینتیک خشک‌کردن مادون‌قرمز برش‌های میوه به و مدل‌سازی آن با روش الگوریتم ژنتیک-شبکه‌های عصبی مصنوعی را بررسی کردند. نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه ایجاد در این پژوهش نشان داد که به دلیل حساسیت بالاتر، دمای مرکز برش‌های میوه به مؤثرترین عامل در کنترل میزان نسبت رطوبتی می‌باشد.

امروزه الگوریتم ژنتیک جای خود را در میان روش‌های بهینه‌سازی حل مسائل پیچیده به‌خوبی باز کرده است. در این پژوهش، به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت^۱ بر روی شبکه بهینه ایجاد شده توسط روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. همان‌طوری که در شکل ۳ مشاهده می‌شود پارامتر آبداری مجدد، حساس‌ترین پارامتر به تغییرات غلظت محلول اسمزی و افزایش زمان اعمال فراصوت است. در بین متغیرهای مستقل، زمان اعمال فراصوت بیشترین تأثیر را بر درصد خروج آب و درصد جذب



شکل ۳- نتایج آنالیز حساسیت توسط الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده

Figure 3- Sensitivity analysis results by optimized genetic algorithm-artificial neural network

نتیجه‌گیری

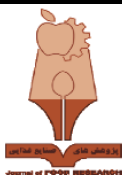
استفاده از امواج فراصوت همراه با فرآیند آبگیری اسمزی، موجب افزایش ضریب نفوذ رطوبت، افزایش سرعت انتقال جرم و کاهش زمان فرآیند آبگیری می‌شود. در این مطالعه از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبگیری مجدد برش‌های کیوی آبگیری شده به روش اسمز-فراصوت استفاده شد. مقادیر میانگین خطا مطلق محاسبه‌شده برای پیش‌بینی درصد کاهش وزن، درصد کاهش آب، درصد جذب مواد جامد و درصد آبگیری

مجدد برش‌های کیوی آبگیری شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب برابر ۰/۹۱۰، ۱/۲۴۰، ۰/۵۱۶ و ۱۰/۳۰۱ بود. براساس نتایج آزمون آنالیز حساسیت، پارامتر آبگیری مجدد، حساس‌ترین پارامتر به تغییرات غلظت محلول اسمزی و افزایش زمان اعمال فراصوت بود. نتایج نشان می‌دهد که مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک نتایج بسیار خوبی داشته و از سرعت بالا و توانایی تقریب قوی برای پیش‌بینی پارامترهای فرآیند آبگیری از کیوی به روش اسمز- فراصوت، برخوردار است.

منابع مورد استفاده

- خاکبازحشمتی م و سیفی‌مقدم ا، ۱۳۹۶، بررسی تکنیک متناوب مایکروویو- هوای گرم بر خواص کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی خشک‌شده. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۷(۱)، ۱۱۱-۱۲۶.
- صالحی ف و ساترابی م، ۱۴۰۱، مدل‌سازی فرآیند خشک کردن برش‌های هلو پوشش داده‌شده با صمغ‌های دانه ریحان و گزانتان با سامانه فرورسرخ. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۲(۳)، ۲۸-۱۷.
- AOAC, 2010. Official methods of analysis, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Awad TS, Moharram HA, Shaltout OE, Asker D, Youssef MM, 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. Food Research International 48(2): 410-427.
- Azarpazhooh E, Sharayeei P, Gheybi F, 2019. Evaluation of the effects of osmosis pretreatment assisted by ultrasound on the impregnation of phenolic compounds into aloe vera gel and dry product quality. Food Engineering Research 18(66): 143-154.
- Davallou M, Heidari T, 2018. Comparison of stock index forecasting using hybrid models based on genetic algorithm and harmonic search with artificial neural network. Quarterly Journal of Quantitative Economics 15(3): 105-127.
- Fernandes FA, Gallão MI, Rodrigues S, 2008. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. LWT-Food Science and Technology 41(4): 604-610.
- Fernandes FAN, Gallão MI, Rodrigues S, 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. Journal of Food Engineering 90(2): 186-190.
- Gharibi Tehrani M, Azar Pazhooh E, Pedram Nia A, Estiri SH, 2020. Mass transfer kinetic by ultrasound treatment-osmosis in slices yellow onion. Journal of Innovation in Food Science and Technology 12(1).
- Hafezi N, Bahrami H, Sheikh Davoodi MJ, Alavi SE, 2020. Hybrid artificial neural network with meta-heuristic algorithms for predicting sugarcane yield. Iranian Journal of Biosystems Engineering 51(3): 515-526.
- Mirabdolahi M, Abootorabi MM, 2019. Optimization and modeling of plasma cutting of AISI 309 stainless steel by using neural network-genetic algorithm hybrid model. Modares Mechanical Engineering 19(10): 2455-2462.
- Mokhtariyan M, Mahmmodi M, Maleki M, Mahjoorian A, 2017. Performance investigation of arrangement type of perceptron neural network to predict mass transfer kinetic of daikon ultrasound-osmotic dehydration. Food Science and Technology 13(12): 33-43

- Mokhtarian M, Heidari Majd M, Daraei Garmakhany A, Zaerzadeh E, 2021. Predicting the moisture ratio of dried tomato slices using artificial neural network and genetic algorithm modeling. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology* 9(4): 411-422.
- Monadjemi SA, Abzari M, Rayati Shavazi A, 2009. Modeling of stock price forecasting in stock exchange market, using fuzzy neural networks and genetic algorithms. *Quarterly Journal of Quantitative Economics* 6(22): 1-26.
- Pourmohammadali B, Hosseinifard SJ, Hassan Salehi M, Shirani H, Esfandiarpour Boroujeni I, 2019. Effects of soil properties, water quality and management practices on pistachio yield in Rafsanjan region, southeast of Iran. *Agricultural Water Management* 213: 894-902.
- Salehi F, 2020a. *Food industry machines and equipment*. Bu-Ali Sina University Press, Hamedan, Iran.
- Salehi F, 2020b. Physico-chemical properties of fruit and vegetable juices as affected by ultrasound: A review. *International Journal of Food Properties* 23(1): 1748-1765.
- Salehi F, Abbasi Shahkoh Z, Godarzi M, 2015. Apricot osmotic drying modeling using genetic algorithm - artificial neural network. *Journal of Innovation in Food Science and Technology* 7(1): 65-76.
- Salehi F, Cheraghi R, Rasouli M, 2022. Influence of sonication power and time on the osmotic dehydration process efficiency of banana slices. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*.
- 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.
- Taghizadeh R, Fattahi A, Tahari MH, Babaei H, 2015. Evaluating hybrid model of artificial neural networks and genetic algorithms for forecasting consumption of energy in Iran agricultural sector. *Agricultural Economics Research* 7(27): 149-166.
- Yusefi A, Dilmaghanian S, Ziaforoughi A, Moezzi M, 2019. Study on infrared drying kinetics of quince slices and modelling of drying process using genetic algorithm-artificial neural networks (GA-ANNs). *Innovative Food Technologies* 6(2): 175-186.



Journal of Food Research, 2023,33(2):95-108
<https://foodresearch.tabrizu.ac.ir>

OPEN ACCESS



© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

DOI: 10.10.22034/FR.2022.51813.1837

Optimization of artificial neural network structure by using genetic algorithm for predicting dehydration process parameters by osmosis-ultrasound method from kiwifruit

F Salehi^{1*} and R Cheraghi²

Received: May 27, 2022

Accepted: November 20, 2022

¹Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

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

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

Introduction: One of the most important applications of artificial neural networks is to design a model based on which the value of one or more dependent variables can be predicted using independent variables. A genetic algorithm is one of the methods for optimizing problems and models, based on natural selection and some essential concepts of genetics. The performance of artificial neural networks (ANN) was reported by some researchers. They said that these approaches can estimate the characteristics of various fruits and vegetables with high precision. It has been shown that nonlinear techniques based on ANN are far better in generalization and estimation than empirical models. Determination of the best number of neurons in hidden layers of ANN models is generally carried out by trial and error. The genetic algorithm optimization method can be used to overcome this inherent limitation of ANN (Hafezi et al. 2020; Amini et al. 2021; Satorabi et al. 2021). Osmotic dehydration is an easy method for removing water from fruit and vegetable particles. At the same time, the correct term is “osmotic dewatering” while the final product still has high water content (Salehi et al. 2015). Ultrasound (sonication) treatments support the removal of intracellular water from fruit or vegetable particles to the surroundings as a result of a quick series mechanism of compressions and expansions (the phenomenon of cavitation). The use of continuous high-frequency ultrasound improves the mass transport rate during osmo-concentration. Also, the reduction of dehydration time and, as a result, processing costs have lately been reported at the laboratory scale after research conducted on some fruit and vegetable particles (Fernandes et al., 2008; Awad et al., 2012; Mohsen et al., 2017; Azarpazhooh et al., 2019; Salehi, 2020b; Salehi et al., 2022). In this study, the genetic algorithm-artificial neural network method was used to predict the weight reduction percentage, water loss percentage, solids gain percentage and rehydration percentage of kiwifruit slices dehydrated by the osmosis-ultrasound way.

Material and methods: Fresh kiwifruits of the *Actinidia deliciosa* variety were harvested in a patch located in Sari, Mazandaran Province, Iran. Before the experiments, the fresh and uniform-size kiwifruits with no external damage were selected, and with the aid of an industrial slicer (Girmi, Italy), cut into 0.5 cm thickness slices. The fresh kiwifruit slices moisture content (MC) was 84% w.b. (was calculated at 105°C for four hours, in an air forced oven, Shimaz, Iran). The ultrasonic

treatments were carried out using an ultrasonic bath. The operating frequency of the bath was 40 kHz. The temperature of the osmotic solutions was maintained at 50°C. Treatments were structured in combinations of 8-time intervals: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, and 80 min; three osmotic solutions concentrations: 20, 30, and 40 °Brix; and three sonication power levels: 0, 75, and 150 watts. Treatments performed at 0 W were not subjected to sonication and were considered as control samples. The osmotic solutions were prepared by adding food-grade sucrose to water until concentrations of 20, 30, and 40 °Brix (% w/w) were attained. Each kiwifruit slice was immersed in the ultrasonic bath filled with 4L of treatment solution. Neurosolution software (version 5, NeuroDimension, Inc., USA) was employed for making the genetic algorithm-artificial neural network (GA-ANN) model. In the hidden layers and output layer a hyperbolic tangent activation function was used. The Levenberg-Marquardt optimization method was applied to network training. The crossover probability and the mutation probability operators were adjusted equal to 0.9 and 0.01, respectively. Also, a sensitivity analysis was done to supply the measure of relative significance between the inputs of the ANN model and to show how the model output changed in response to input changes. Genetic algorithm structure-artificial neural network with three inputs of ultrasound treatment time (in eight times of 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 and 80 minutes), sucrose solution concentration (in three levels of 20, 30 and 40 °Brix) and ultrasound power (at three levels of 0, 75 and 150 watts) was developed to predict the characteristics of dehydrated kiwifruit slices.

Results and discussion: It was considered that the weight reduction of kiwifruit slices increased with the enhancement in sonication powers. Also, it was observed that weight reduction increased with the enhancement in osmotic solution concentration from 20% to 40%. With increasing the ultrasonic power to 150 W, the average moisture loss percentage of the samples increased by 27.51% ($P < 0.05$). With increasing the osmotic solution concentration from 20 to 40%, the average moisture loss percentage in the samples increased significantly from 16.58% to 35.33% ($P < 0.05$). The results of modeling showed that a network with eight neurons in a hidden layer and using the hyperbolic tangent activation function could predict the dehydration process parameters of kiwifruit slices. The values of coefficients of determination (r) calculated to indicate the weight reduction percentage, water loss percentage, solids gain percentage and rehydration percentage of kiwifruit slices dehydrated using the genetic algorithm-artificial neural network method were 0.983, 0.989, 0.992 and 0.979, respectively.

Conclusion: Based on the results of the sensitivity analysis test, the rehydration parameter was the most sensitive parameter to changes in osmotic solution concentration and increasing the ultrasonic treatment time. The results obtained from this method show that the genetic algorithm-artificial neural network method is a suitable solution for modeling the kiwifruit dehydration process by the osmosis-ultrasound technique.

Keywords: Rehydration, Sensitivity analysis, Solids gain, Sucrose