



استفاده از پیش تیمار مایکروویو برای افزایش سرعت انتقال جرم در طول فرآیند خشک کردن برش های هویج

فخرالدین صالحی^{۱*}، کیمیا گوهرپور^۲، هلیا رضوی کامران^۲

۱- دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۲۷

کلمات کلیدی:

آنالیز حساسیت،

الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی،

پرسپترون،

لونبرگ-مارکوارت،

مایکروویو.

DOI: 10.22034/FSCT.20.145. 139

* مسئول مکاتبات:

F.Salehi@Basu.ac.ir

فرآیند خشک کردن یکی از روش های فرآوری سبزی ها و میوه ها است که باعث کاهش حجم محصول، تسهیل در حمل و نقل، افزایش قابلیت نگهداری و کاهش فعالیت های میکروبی می گردد. امواج مایکروویو به عنوان یک منبع گرمایش سریع و مؤثر با اثرات حرارتی و غیرحرارتی می تواند مستقیماً بر مواد غذایی تأثیر بگذارند و در نتیجه واکنش های فیزیکوشیمیایی و سرعت خشک شدن را تسریع و محصولات خشک شده با کیفیت بالا تولید کنند. هدف از این پژوهش استفاده از پیش تیمار مایکروویو برای افزایش سرعت انتقال جرم در طول فرآیند خشک کردن برش های هویج و مدل سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی است. در این مطالعه اثرات زمان تیماردهی با امواج مایکروویو در پنج سطح ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ ثانیه بر زمان خشک شدن و محتوای رطوبت برش های هویج در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. این فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی با ۲ ورودی (زمان تیماردهی با مایکروویو و طول فرآیند خشک کردن) و ۱ خروجی (درصد رطوبت) مدل سازی شد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان تیماردهی با مایکروویو، سرعت خروج رطوبت از نمونه ها افزایش و در نتیجه زمان خشک کردن کاهش یافت. الگوریتم های آموزشی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و الگوریتم لونبرگ-مارکوارت به عنوان بهترین الگوریتم انتخاب شد. بر اساس تحلیل های صورت گرفته روی داده های مدل سازی، شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون با ساختار ۱-۵-۲ مناسب ترین شبکه برای پیش بینی محتوای رطوبت برش های هویج تیمار شده با امواج مایکروویو است. در این مطالعه مقادیر میانگین مربعات خطا (MSE)، میانگین مربعات خطا نرمالیزه شده (NMSE)، میانگین خطا مطلق (MAE) و ضریب تبیین (R) برای پیش بینی درصد رطوبت برش های هویج طی فرآیند خشک شدن به ترتیب برابر ۵/۲۹۸، ۰/۰۰۶، ۱/۶۲۰ و ۰/۹۹۷ بود. نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه نشان داد که طول فرآیند خشک کردن به عنوان مؤثرترین عامل در پیش بینی محتوای رطوبت برش های هویج بود.

۱- مقدمه

نگرانی‌های روزافزون در مورد کیفیت محصول و هزینه‌های تولید، محققان را به مطالعه و تحقیق بیشتر برای جایگزینی فناوری‌های خشک‌کردن ترکیبی، تشویق می‌کند [۱]. در خشک‌کن مایکروویو، آب موجود در مواد غذایی انرژی مایکروویو را جذب کرده و آن را به گرما تبدیل می‌کنند. گرمای تولید شده در ماده غذا عمدتاً به دلیل مکانیسم‌های دوقطبی و یونی است. اینها معمولاً توسط میدان الکتریکی نوسانی تولید شده توسط امواج مایکروویو جهت‌گیری شده و در نهایت منجر به افزایش دمای محصول می‌شوند [۲]. استفاده از امواج مایکروویو به صورت پیش‌تیمار یا ترکیبی یک روش خشک‌کردن کارآمد است. از این روش می‌توان برای تسریع در خشک‌کردن غذاهای خاص، به‌ویژه برای میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده کرد. مزایای خشک‌کردن ترکیبی با مایکروویو شامل زمان خشک‌کردن کوتاه‌تر، کیفیت بهتر محصول نهایی و انعطاف‌پذیری در تولید طیف گسترده‌ای از محصولات خشک است؛ اما کاربردهای فعلی مایکروویو به دلیل هزینه‌های راه‌اندازی بالا و فناوری نسبتاً پیچیده در مقایسه با خشک‌کردن همرفتی معمولی، به پژوهش‌های علمی، صنایع کوچک و بخش کوچکی از میوه‌ها و سبزی‌ها محدود شده است [۳-۵]. از روش مایکروویو برای تیماردهی و خشک‌کردن محصولات مختلف کشاورزی شامل دانه‌های انار [۶]، سیب [۵، ۷]، سیر [۸]، هویج [۹]، میوه مورد (*Myrtus communis* L.) [۱۰]، گیلاس [۱۱]، زیتون سبز [۱۲] و عدس جوانه‌زده [۱۳]، استفاده شده است که از نتایج این پژوهش‌ها می‌توان به افزایش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت، کاهش مدت زمان خشک شدن، کاهش مصرف انرژی، بهبود ویژگی‌های کیفی و حفظ ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی اشاره کرد. گروهی از پژوهشگران گزارش کردند که استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو باعث حفظ رنگ و فعالیت آنتی‌اکسیدانی محصول نهایی می‌شود [۱۴].

در روش شبکه عصبی مصنوعی^۱، شبکه شامل چندین لایه از جمله لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی است. هر لایه از چندین نورون تشکیل شده است که در بین آنها تعداد نورون‌های لایه پنهان از اهمیت ویژه‌ای برای دریافت پاسخ برخوردار است. نورون‌ها کوچک‌ترین مدل‌های سازنده شبکه عصبی هستند. در این روش، شبکه از طریق داده‌های آزمایشگاهی آموزش می‌بیند و وزن‌ها برای تعیین رابطه بین لایه‌ها تعیین می‌شوند. برای دستیابی به پاسخ مناسب، خطا بین متغیر پاسخ واقعی و پیش‌بینی‌شده به شبکه ورودی برگشت داده می‌شود [۱۵-۱۷].

توپولوژی هر شبکه وضعیت نسبی سلول‌ها در شبکه (تعداد، گروه‌بندی و اتصالات) را نشان می‌دهد. توپولوژی در واقع سیستم اتصال سخت‌افزاری نرون‌ها به یکدیگر است که توأم با نرم‌افزار مربوطه (روش ریاضی جریان اطلاعات و محاسبه وزن‌ها) نوع عملکرد شبکه عصبی را تعیین می‌کند [۱۸]. این شبکه می‌تواند داده‌های تجربی را تجزیه و تحلیل و به‌طور مؤثر بین روابط غیرخطی ارتباط برقرار کرده و در نهایت مدل‌سازی و نتیجه‌گیری کند [۱۹، ۲۰].

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی شامل تکرار جستجو برای تعیین مقادیر ورودی جهت به دست آوردن خروجی مورد نظر است. این الگوریتم سیستم‌های تکاملی بیولوژیکی مانند انتخاب^۲، آمیزش^۳ و جهش^۴ را تقلید می‌کند [۱۶، ۲۰]. روش الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم جستجوی موازی بر اساس انتخاب طبیعی اصلح و نظریه تکامل داروین است. در این روش سعی بر مدل‌سازی ریاضی نظام انتخاب طبیعی است. در این روش صرفاً از مقادیر تابع هدف که باید در ابتدا به‌طور واضح و ترکیبی از تمامی اهداف مورد نظر تعریف گردد، برای هدایت جستجو استفاده می‌شود و

¹- Artificial Neural Network (ANN)

²- Selection

³- Crossover

⁴- Mutation

برش‌های هویج تیمار شده با مایکروویو، به‌صورت لایه‌نازک داخل آون فن‌دار (شیماز، ایران) با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن تا دستیابی به وزن ثابت، توسط ترازوی دیجیتالی (لوترون، تایوان) با دقت ± 0.01 گرم، ثبت شد.

۲-۴- مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن برش‌های هویج تیمار شده با مایکروویو جهت پیش‌بینی درصد رطوبت (بر پایه وزن مرطوب) به روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیش‌خور انجام پذیرفت. توپولوژی شبکه‌های چندلایه پرسپترون با قانون پس انتشار خطا تکمیل می‌شود [۱۸]. در این مطالعه دو ورودی (زمان تیماردهی با مایکروویو و طول فرآیند خشک‌کردن) و یک خروجی (درصد رطوبت) در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار نروسولوشن^۱ (ورژن ۵) جهت مدل‌سازی استفاده شد. در این نرم‌افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی (خطی، سیگموئیدی^۲ و تانژانت هیپربولیک^۳)؛ تعداد نوروها لایه پنهان (۲۰-۱)، تعداد داده‌های استفاده‌شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و الگوریتم‌های یادگیری، بهترین ساختار شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد. به‌منظور ارزیابی شبکه عصبی ایجادشده از شاخص‌های میانگین مربعات خطا^۴، میانگین مربعات خطا نرمالیزه شده^۵، میانگین خطای مطلق^۶، حداقل خطای مطلق^۷، حداکثر خطای مطلق^۸ و ضریب تبیین^۹ استفاده شد [۱۷].

نیاز به دانستن نحوه تغییرات متغیرها نیست [۱۸]. در حال حاضر ترکیب روش الگوریتم ژنتیک با شبکه عصبی مصنوعی به‌طور گسترده‌ای به‌منظور مدل‌سازی فرآیندها و پیش‌بینی پاسخ‌های سیستم استفاده می‌شود [۱۶، ۲۱]. پیش‌تیمار مایکروویو می‌تواند سرعت خشک شدن را تا حد زیادی تسریع و زمان خشک شدن محصول را کوتاه کند. در این پژوهش استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو در پنج زمان ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ ثانیه برای افزایش سرعت انتقال جرم در طول فرآیند خشک‌کردن برش‌های هویج بررسی و فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه مواد اولیه

برای انجام آزمایش‌ها، هویج‌های با اندازه یکسان از شهر همدان تهیه شد. برای تعیین رطوبت نمونه‌ها، برش‌های هویج به مدت ۵ ساعت درون آون آزمایشگاهی (شیماز، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. رطوبت اولیه هویج ۹۰/۷۷ درصد بر پایه مرطوب بود.

۲-۲- اعمال تیمار مایکروویو

برای اعمال تیمار مایکروویو، ابتدا هویج‌ها توسط اسلایسر صنعتی (جرمی، مدل AF-23، ایتالیا) به قطعاتی با ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر برش داده شدند. سپس برش‌های هویج به مدت ۰ (نمونه شاهد)، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ ثانیه توسط دستگاه مایکروویو خانگی (دلموتی، مدل DL740، ایتالیا) تیماردهی شدند.

۲-۳- فرآیند خشک‌کردن

1- Neurosolution software (Excel software release 5.0), NeuroDimension, Inc., USA
2- Sigmoid functions
3- Hyperbolic tangent function
4- Mean squared error (MSE)
5- Normalized Mean squared error (NMSE)
6- Mean absolute error (MAE)
7- Minimum absolute error
8- Maximum absolute error
9- Correlation coefficient (r)

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر پیش تیمار مایکروویو

روش مایکروویو یک روش جالب برای پیش تیمار و خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها به دلیل سرعت خشک شدن بالا، مصرف کم انرژی و حفظ ترکیبات حساس به حرارت است [۲۲]. خشک کردن ترکیبی با مایکروویو از مزایای روش‌های خشک کردن معمولی و گرمایش مایکروویو استفاده می‌کند که منجر به فرآیندهای بهتری نسبت به خشک کردن مایکروویو به تنهایی می‌شود [۳]. در شکل ۱ اثر زمان تیماردهی با مایکروویو بر سرعت خروج رطوبت از برش‌های هویج در طول فرآیند خشک شدن را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تیماردهی با مایکروویو باعث افزایش سرعت خروج رطوبت از نمونه‌ها و در نتیجه کاهش زمان خشک شدن نمونه‌ها شده است و زمان خشک کردن نمونه تیمار شده به مدت ۶۰ ثانیه نسبت به سایر نمونه‌ها کوتاه‌تر می‌باشد. میانگین زمان خشک شدن

نمونه‌های تیمار شده با مایکروویو به مدت صفر (شاهد)، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ ثانیه به ترتیب برابر ۲۲۵ دقیقه، ۱۹۰ دقیقه، ۱۶۰ دقیقه، ۱۵۵ دقیقه و ۱۳۰ دقیقه بود. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، متولی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که استفاده از پیش تیمار مایکروویو در خشک کردن دانه‌های انار با خشک‌کن هوای گرم باعث کاهش زمان خشک کردن در مقایسه با خشک کردن همرفتی بدون پیش تیمار می‌شود [۶]. نتایج پژوهش متولی و هدایتی (۲۰۱۷) نیز حاکی از کاهش زمان خشک کردن سیب با اعمال پیش تیمار مایکروویو بود [۵]. همچنین این پژوهشگران گزارش کردند که طولانی‌ترین زمان خشک شدن سیب (۳۴۵ دقیقه) مربوط به نمونه شاهد و کوتاه‌ترین زمان خشک شدن (۷۵ دقیقه) نیز مربوط به نمونه پیش تیمار شده با امواج مایکروویو بود.

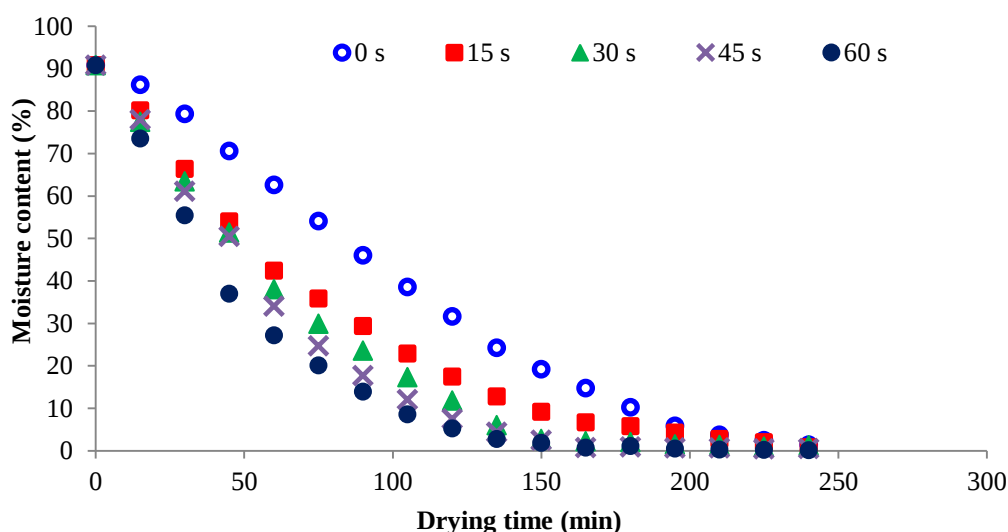


Figure 1- Effect of microwave pretreatment on the moisture content change of carrot slices during drying process

برش‌های هویج توسط شبکه عصبی بهینه برابر ۰/۰۰۶ است که نشان دهنده قدرت شبکه در کاهش خطا هنگام مدل‌سازی است. همچنین، ضریب تبیین محاسبه شده برای پیش‌بینی درصد رطوبت برش‌های هویج توسط شبکه عصبی بهینه برابر ۰/۹۹۷ است.

Table 1- The error values in prediction of moisture content of carrot slices during drying process

Error	Moisture content
Mean squared error	5.298
Normalized Mean squared error	0.006
Mean absolute error	1.620
Minimum absolute error	0.019
Maximum absolute error	8.768
Correlation coefficient (r)	0.997

شکل ۲ نشان دهنده خطاهای داده‌های آموزش (میانگین مربعات خطا) در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده توسط شبکه عصبی مصنوعی است. به‌طور کلی، خطا پس از برخی دوره‌های آموزشی کاهش می‌یابد و اگر خطای اعتبار سنجی افزایش یابد، الگوریتم آموزشی خاتمه پیدا می‌کند. این شکل نشان می‌دهد که مقدار خطا در همان نسل‌های اول کاهش یافته و بعد از تشکیل حدود ۲۳ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی رسیده است که نشان دهنده توانایی روش الگوریتم ژنتیک در بهینه کردن پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی است.

۲-۳- نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

با توجه به اینکه هدف اصلی این مطالعه، استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی بود، تکنیک الگوریتم ژنتیک به‌منظور بهینه‌سازی انتخاب شد. در این مطالعه الگوریتم‌های آموزشی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و الگوریتم لونبرگ-مارکوارت^۱ به‌عنوان بهترین الگوریتم انتخاب شد. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی سیگموئیدی به دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب شد. در شبکه عصبی مصنوعی، مجموعه داده‌ها به‌طور تصادفی در سه مجموعه شامل آموزش، آزمون (اعتبار سنجی) و ارزیابی طبقه‌بندی می‌شوند. بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۵۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها است. ۱۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده شد. به‌منظور ارزیابی شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (۴۰ درصد) استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۵ نورون در لایه پنهان می‌تواند به‌خوبی درصد رطوبت برش‌های هویج تیمار با میکروویو را در طول فرآیند خشک شدن پیش‌بینی کند.

در این مطالعه، از ۶ شاخص برای ارزیابی عملکرد شبکه طراحی شده استفاده شد که شامل میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطا نرمالیزه شده، میانگین خطای مطلق، حداقل خطای مطلق و حداکثر خطای مطلق بود. مقادیر خطاها و ضریب تبیین برای پیش‌بینی درصد رطوبت برش‌های هویج در جدول ۱ گزارش شده است. میانگین مربعات خطا نرمالیزه شده برای پیش‌بینی درصد رطوبت

1- Levenberg-Marquardt (LM)

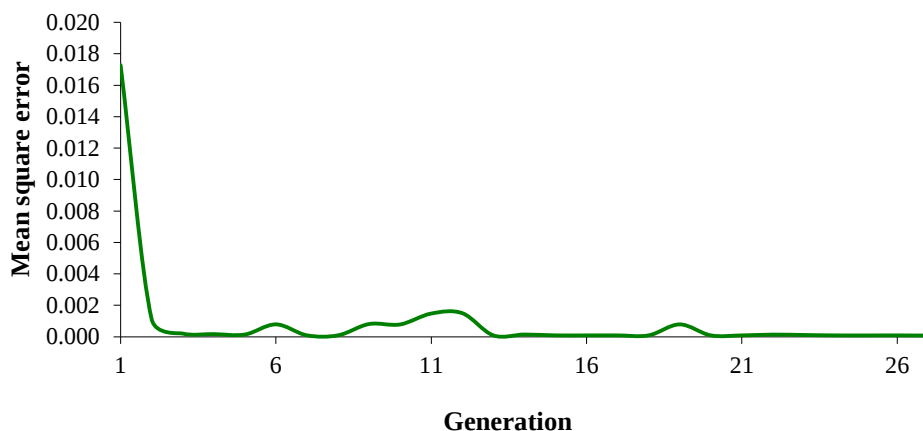


Figure 2- Mean square error versus generation during training of network

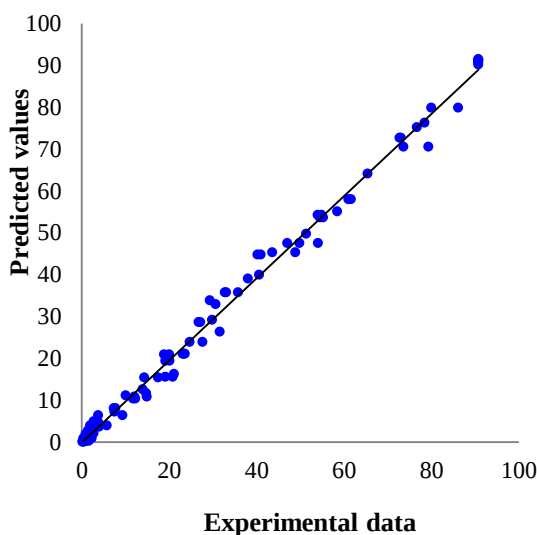


Figure 3- Experimental data vs predicted values of moisture content of carrot slices during drying process

روش الگوریتم ژنتیک، تکنیک جستجو در علم رایانه برای یافتن راه حل تقریبی برای بهینه‌سازی مدل ریاضی و سایر مسائل است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی مانند وراثت، جهش و اصول انتخابی برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کند [۱۵]. مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی برای درصد رطوبت برش‌های هویج تیمار شده با مایکروویو در طول فرآیند خشک شدن و پیش‌بینی‌شده توسط الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی بهینه (۲/۵/۱) در شکل ۳ نشان داده شده است. این شکل داده‌های پیش‌بینی‌شده را حول خط بهترین انطباق (۴۵ درجه) نشان می‌دهد. توزیع داده‌ها در این نمودار نشان‌دهنده کارایی بالای روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی فرآیند خشک کردن و پیش‌بینی درصد رطوبت برش‌های هویج است.

ساختار یک شبکه عصبی مصنوعی از یک لایه ورودی متشکل از نورون‌های ورودی (مرتبط با متغیرهای ورودی)، یک لایه پنهان متشکل از نورون‌های لایه پنهان و یک لایه خروجی متشکل از نورون‌های خروجی (مرتبط با متغیرهای خروجی) تشکیل شده است [۲۳]. هدف از فرآیند آموزش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی به‌دست آوردن مقادیر وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. وزن‌ها را می‌توان به‌عنوان قدرت اتصال بین گره‌هایی که ضرایب بسیار مؤثری در تبدیل ورودی به خروجی دارند، تعریف

همیشه این است که شبکه‌ای انتخاب شود که در مجموعه آزمایش با حداقل تعداد سلول‌های عصبی پنهان، بهترین عملکرد را داشته باشد [۱۵، ۲۴]. در مطالعه حاضر، الگوریتم ژنتیک به‌خوبی ساختار شبکه عصبی مصنوعی را بهینه کرد و شبکه‌ای با پنج نورون در یک لایه پنهان به‌عنوان شبکه بهینه بود.

کرد. برای کاهش خطای پیش‌بینی، تفاوت بین پاسخ پیش‌بینی‌شده و پاسخ واقعی از طریق الگوریتم آموزش به شبکه بر می‌گردد و وزن‌ها و بایاس‌ها بر این اساس اصلاح می‌شوند [۱۵]. در جدول ۲، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نورون برای شبکه دارای ۵ نورون در لایه پنهان گزارش شده است. صرف نظر از روشی که برای انتخاب محدوده تعداد نورون لایه پنهان استفاده شده است، قاعده

Table 2- Weight values and bias of the optimal network

Hidden neurons	Bias	Input neurons		Output neurons
		Microwave time (s)	Drying time (min)	Moisture content (%)
1	3.1931	-1.8347	-5.5813	3.2565
2	1.3420	-11.0719	-1.2530	0.5820
3	-1.4820	-1.3113	9.36109	-1.4665
4	0.3521	-0.6953	2.5041	-8.4074
5	-4.0259	-6.3299	-11.0761	-1.9877
Bias				6.8219

شبکه بهینه ایجاد شده توسط روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. همان‌طوری که در جدول ۳ مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، طول فرآیند خشک‌کردن به‌عنوان مؤثرترین عامل در پیش‌بینی محتوای برش‌های هویج می‌باشند.

تجزیه و تحلیل حساسیت یک سیستم، چگونگی حساسیت متغیرهای پیش‌بینی‌شده (خروجی سیستم) به متغیرهای مستقل ورودی را بررسی می‌کند [۱۵]. در مطالعه حاضر، به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت روی

Table 3- Sensitivity analysis results for prediction of moisture content of carrot slices during drying process

Input parameter	Sensitivity
Microwave time (s)	3.467
Drying time (min)	13.158

سرعت انتقال جرم در طول فرآیند خشک‌کردن برش‌های هویج مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش زمان تیماردهی با مایکروویو، شدت تیماردهی به نمونه‌ها افزایش و زمان خشک شدن نمونه‌ها کاهش یافت. در این پژوهش از

در این مطالعه استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو برای افزایش

۴- نتیجه‌گیری

مختلف طی فرآیند خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده کرد. نتایج آنالیز حساسیت نیز نشان داد که طول فرآیند خشک کردن به عنوان مؤثرترین عامل در پیش‌بینی محتوای رطوبت برش‌های هویج است.

۵- تشکر و قدردانی

از حمایت مالی شورای پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا از این پژوهش، قدردانی می‌کنیم.

۶- منابع

[1] Salehi, F. 2023. Recent progress and application of freeze dryers for agricultural product drying, *ChemBioEng Reviews*. 10, 618-627.

[2] Kumar, C., Karim, M. A. 2019. Microwave-convective drying of food materials: A critical review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 59, 379-394.

[3] Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S., Wang, S. 2006. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables, *Trends in Food Science & Technology*. 17, 524-534.

[4] Wray, D., Ramaswamy, H. S. 2015. Novel concepts in microwave drying of foods, *Drying Technology*. 33, 769-783.

[5] Motevali, A., Hedayati, F. 2017. Investigation of change drying rate constant coefficient in simulations models with various pretreatments on drying apple, *Innovative Food Technologies*. 4, 39-51.

[6] Motevali, A., Minaei, S., Khoshtagaza, M. H. 2011. Evaluation of energy consumption in different drying methods, *Energy Conversion and Management*. 52, 1192-1199.

[7] Tepe, F. B. 2022. Impact of pretreatments and hybrid microwave assisting on drying characteristics and bioactive properties of apple slices, *Journal of Food Processing and Preservation*. 46, e17067.

[8] Sharma, G. P., Prasad, S. 2006. Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves, *Journal of Food Engineering*. 75, 441-446.

مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی درصد رطوبت برش‌های هویج طی فرآیند خشک شدن استفاده شد. الگوریتم‌های آموزشی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و الگوریتم لونبرگ-مارکوارت به عنوان بهترین الگوریتم انتخاب شد. روش الگوریتم ژنتیک دارای قابلیت بالایی برای یافتن مقدار بهینه شبکه بود. وجود ۵ نورون در لایه پنهان، منجر به بالاترین r^2 (ضریب تبیین) و کمترین میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطا نرمالیزه شده و میانگین خطای مطلق شد. در مجموع نتایج پژوهش نشان داد که روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی سینتیک خشک کردن هویج مناسب است و از این روش می‌توان برای پیش‌بینی پارامترهای سینتیکی

[9] Azadbakht, M., Vahedi Torshizi, M., Mahmoodi, M. J., Ghazagh Jahed, R. 2021. Mathematical modeling of the biochemical properties of carrots by microwave drying with different pretreatments using response surface methodology, *Food Engineering Research*. 21, 35-56.

[10] Karimi, S., Mohammadi, S., Layeghiniya, N., Abbasi, H. 2021. Effect of combined microwave-hot air under microwave pretreatment on drying kinetics of Myrtus fruit, *Journal of Food Processing and Preservation*. 13, 125-138.

[11] Simsek, M., Süfer, Ö. 2021. Influence of different pretreatments on hot air and microwave-hot air combined drying of white sweet cherry, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 9, 1172-1179.

[12] Aydar, A. Y. 2021. Investigation of ultrasound pretreatment time and microwave power level on drying and rehydration kinetics of green olives, *Food science and technology*. 41, 238-244.

[13] Najib, T., Heydari, M. M., Meda, V. 2022. Combination of germination and innovative microwave-assisted infrared drying of lentils: effect of physicochemical properties of different varieties on water uptake, germination, and drying kinetics, *Applied Food Research*. 2, 100040.

[14] Bassey, E. J., Cheng, J.-H., Sun, D.-W. 2022. Thermoultrasound and microwave-assisted freeze-thaw pretreatments for improving infrared drying and quality characteristics of red dragon fruit slices, *Ultrasonics Sonochemistry*. 91, 106225.

- [15] Mousavikia, N., Mohammadi, F., Hasheminejad, H. 2022. Prediction and optimization of ultrasound-assisted removal of estrogen hormones from municipal wastewater using artificial neural network and genetic algorithm: a review approach, *Health System Research*. 18, 83-94.
- [16] Salehi, F. 2020. Recent advances in the modeling and predicting quality parameters of fruits and vegetables during postharvest storage: A review, *International Journal of Fruit Science*. 20, 506-520.
- [17] 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, 468-480.
- [18] Parvaresh Rizi, A., Kouchakzadeh, S., Omid, M. H. 2006. Estimating moving hydraulic jump parameters by means of ANN and the integration of ANN and GA, *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 37, 187-196.
- [19] Wei, Q., Lv, M., Wang, B., Sun, J., Wang, D. 2023. A comparative study of optimized conditions of QuEChERS to determine the pesticide multiresidues in *Lycium barbarum* using response surface methodology and genetic algorithm-artificial neural network, *Journal of Food Composition and Analysis*. 120, 105356.
- [20] Lee, G. E., Kim, R. H., Lim, T., Kim, J., Kim, S., Kim, H.-G., Hwang, K. T. 2022. Optimization of accelerated solvent extraction of ellagitannins in black raspberry seeds using artificial neural network coupled with genetic algorithm, *Food Chemistry*. 396, 133712.
- [21] Fadaie, M., Hosseini Ghaboos, S. H., Beheshti, B. 2020. Characterization of dried persimmon using infrared dryer and process modeling using genetic algorithm-artificial neural network method, *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 17, 189-200.
- [22] Huang, D., Men, K., Tang, X., Li, W., Sherif, S. 2021. Microwave intermittent drying characteristics of camellia oleifera seeds, *Journal of Food Process Engineering*. 44, e13608.
- [23] Zheng, Z.-Y., Guo, X.-N., Zhu, K.-X., Peng, W., Zhou, H.-M. 2017. Artificial neural network – Genetic algorithm to optimize wheat germ fermentation condition: Application to the production of two anti-tumor benzoquinones, *Food Chemistry*. 227, 264-270.
- [24] Jin, L., Kuang, X., Huang, H., Qin, Z., Wang, Y. 2005. Study on the overfitting of the artificial neural network forecasting model, *Acta Meteorologica Sinica*. 19, 216-225.



Application of microwave pretreatment to increase mass transfer rate during carrot slices drying process

Fakhreddin Salehi^{1*}; Kimia Goharpour²; Helia Razavi Kamran²

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

2 -MSc Student, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

ABSTRACT

The drying process is one of the methods of processing vegetables and fruits, helping to reduce the volume of the product, facilitate transportation, increase preservation ability, and reduce microbial activities. As a fast and effective heat source with thermal and non-thermal effects, microwaves can directly affect food and thus accelerate physicochemical reactions and drying rates, and produce high quality dried products. The purpose of this research is to use microwave pretreatment to increase the mass transfer rate in the drying process of carrot slices and to model the process using the genetic algorithm-artificial neural network method. In this study, the effects of microwave treatment time at five levels of 0, 15, 30, 45, and 60 seconds on the drying time and moisture content of carrot slices were investigated in three replications. This process was modeled using the genetic algorithm-artificial neural network method with 2 inputs (microwave processing time and drying process duration) and 1 output (moisture percentage). The results showed that by increasing the microwave treatment time, the rate of moisture removal from the samples increased and thus the drying time decreased. Different training algorithms were evaluated and the Levenberg–Marquardt algorithm was chosen as the best algorithm. Based on modeling data analysis, the Perceptron artificial neural network with 2-5-1 structure is the most suitable network to predict the moisture content of microwaves-treated carrot slices. In this study, the values of mean squared error (MSE), normalized mean squared error (NMSE), mean absolute error (MAE), and correlation coefficient (r) for predicting the moisture content of carrot slices during drying process were equal to 5.298, 0.006, 1.650, and 0.997, respectively. The results of the optimal neural network sensitivity analysis showed that the drying process duration was the most effective factor in predicting the moisture content of carrot slices.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2023/9/8

Accepted: 2023/10/9

Keywords:

Genetic algorithm-artificial neural network,
Levenberg–Marquardt,
Microwave,
Perceptron,
Sensitivity analysis.

DOI: 10.22034/FSCT.20.145.139

*Corresponding Author E-Mail:
F.Salehi@Basu.ac.ir