

بررسی تأثیر پارامترهای عملیاتی بر کینتیک انتقال جرم طی فرآیند آبگیری اسمزی سیب زمینی با استفاده از تحلیل حساسیت مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی

محمد رضا امیریوسفی^{۱*} - محبت محبی^۲

تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۱۰

تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۹

چکیده

خشک کردن اسمزی، به عنوان یک روش فراوری کمینه طی دهه‌های گذشته اهمیت بسیاری یافته است. این فرآیند مستلزم انتقال جرم می‌باشد که با روش‌های مختلف، عمدتاً مبتنی بر قانون فیک، مدل سازی می‌شود. در این پژوهش، فرآیند مدل سازی با به دست آوردن داده‌های تجربی درصد جذب مواد جامد، میزان از دست دادن رطوبت و درصد رطوبت در محصول در غلظت‌های مختلف محلول اسمزی (۵، ۱۰ و ۱۵٪)، دمای غوطه وری (۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد)، نسبت سیب زمینی به محلول اسمزی (۱:۶، ۱:۸، ۱:۱۰) و مدت زمان غوطه وری (۱، ۲، ۳ و ۴ ساعت) انجام شد. به منظور بررسی تأثیر تغییرات در هر یک از پارامترهای عملیاتی بر روی متغیرهای کینتیک انتقال جرم، تحلیل حساسیت صورت پذیرفت. برای مدل سازی داده‌ها از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شد و نتایج، حاکی از قدرت بالای مدل در پیش بینی خروجی‌های سیستم و نیز حساسیت زیاد این خروجی‌ها به پارامتر نسبت نمونه به محلول اسمزی بود.

واژه‌های کلیدی: سیب زمینی، آبگیری اسمزی، تحلیل حساسیت، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

سرمنشأ اصلی سیب زمینی، آمریکای جنوبی و کشورهای پرو، بولیوی، شیلی و اکوادور می‌باشند. تاریخچه کاشت این محصول براساس مطالعات باستان شناسی به حدود ۷۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می‌رسد و در جیره غذایی مردم آن زمان مورد استفاده قرار می‌گرفته است (۳). تا اوایل دهه ۱۹۹۰ بیشترین تولید سیب زمینی و مصرف آن در اروپا، شمال آمریکا و شوروی سابق بود. از آن زمان به بعد تقاضا و تولید چشمگیری در آسیا، آفریقا و آمریکای

لاتین به وجود آمد؛ به طوری که تولید، از کمتر از ۳۰ میلیون تن در دهه ۱۹۶۰ به بیش از ۱۶۵ میلیون تن در سال ۲۰۰۷ رسید. اکنون چین بزرگترین کشور تولید کننده سیب زمینی در جهان است و تقریباً یک سوم کل تولید سیب زمینی جهان مربوط به کشورهای چین و هند می‌باشد. در سال ۲۰۰۷، آسیا و اروپا با تولید بیش از ۸۰٪ سیب زمینی جهان عمده ترین تولید کنندگان سیب زمینی بودند (۱۱).

به طور کلی خشک کردن یکی از روش‌های نگهداری مواد غذایی محسوب می‌شود. علت توجه زیاد به این روش، افزایش زمان ماندگاری در مقایسه با سایر روش‌ها، تولید محصول با وزن و حجم کمتر و عدم نیاز به سردخانه و

۱ و ۴ به ترتیب دانشجوی کارشناسی علوم و صنایع غذایی و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* نویسنده مسئول: (Email: mramiryousefi@yahoo.com)

کاهش هزینه حمل و نقل و بسته بندی می باشد (۲).

خشک کردن اسمزی یکی از روش های نگهداری مواد غذایی است که قادر به ایجاد خواص کیفی بهتر در محصول می گردد (۲۱). در کاربرد فرآیند اسمزی، نه تنها ویژگی های مطلوب محصول در حد قابل توجهی حفظ می گردد، بلکه میزان نیاز به انرژی حرارتی جهت حذف آب اضافی محصول شدیداً کاهش می یابد. از طرفی با به کارگیری محلول اسمزی، از واکنش های قهوه ای شدن آنزیمی تا حد قابل ملاحظه ای جلوگیری شده و امکان حذف مواد شیمیایی نظیر ترکیبات گوگردی، افزایش خواهد یافت (بولین، ۱۹۸۳).

اساس فرآیند خشک کردن به روش اسمزی قرار دادن قطعات ماده غذایی در یک محلول هیپرتونیک^۱ است. این محلول ها معمولاً دارای فشار اسمزی بالاتر و فعالیت آبی^۲ کمتری در مقایسه با محیط سلولی مواد غذایی هستند. از آنجا که دیواره سلولی بسیاری از مواد غذایی می تواند به عنوان یک غشای نیمه تراوا^۳ عمل کند، بنابراین یک نیروی محرکه جهت حرکت آب بین ماده غذایی و محلول اسمزی ایجاد می شود. البته این دیواره کاملاً انتخابی عمل نمی کند و گاهی مواد جامد محلول در مایع اسمزی، به درون ماده غذایی تراوش می شود (۱۰ و ۱۶).

طی این فرآیند دو جریان اصلی وجود دارد که عبارتند از:

الف - شار یا جریان آب از داخل ماده غذایی به محلول اطراف

ب - جریان نفوذ مواد حل شده در محلول به ماده غذایی که در جهت خلاف جریان اول است (۱۵).

جریان سومی نیز مربوط به تراوش مواد با وزن مولکولی پایین و محلول در آب است. هر چند که این جریان خیلی ناچیز و قابل چشم پوشی است، ولی از نظر ارزش تغذیه ای و ویژگی های ارگانولپتیکی محصول نهایی می تواند تأثیر مهمی داشته باشد (۱۴). قابلیت نفوذ بافت گیاهی به قند ها و ترکیبات با وزن مولکولی بالا کم است و شدت جریان اول بیشتر از جریان دوم می باشد و به همین علت به این فرآیند، آبیگری اسمزی گفته می شود (۱۷).

انتقال آب و مواد حل شده در فرآیند را می توان به وسیله تعیین درصد کاهش آب^۴ (WL) و درصد جذب مواد جامد^۵ (SG) به دست آورد. روش های ساده برای تعیین این پارامترها توسط محققان مختلف بررسی شده است. پارامترهای ذکر شده به عواملی از جمله نوع محلول اسمزی، به هم زدن، شکل، اندازه و ضخامت نمونه ماده غذایی، نسبت ماده غذایی به محلول اسمزی، دمای محلول، زمان تیمار و... بستگی دارد (۲۱).

علائدینی و امام جمعه (۵) فرآیند آبیگری اسمزی کیوی را به عنوان پیش تیمار فرآیند خشک کردن توسط جریان هوا، مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که استفاده از آبیگری اسمزی به عنوان پیش تیمار باعث بهبود ویژگی های بافتی و حسی نمونه های خشک شده توسط جریان هوا می گردد.

برای تعیین اینکه یک مدل تا چه اندازه به تغییر مقادیر پارامترهای آن مدل و نیز تغییرات در ساختار حساسیت نشان می دهد، از آزمون تحلیل حساسیت^۶ استفاده می شود. آنجا که تحلیل حساسیت بیانگر چگونگی رفتار مدل با تغییر در مقادیر پارامترهای آن است، می تواند ابزار مناسبی برای

4- Water loss
5- Solid gain
6- Sensitivity analysis

1- Hypertonic solution
2- Water activity
3- Semipermeable membrane

تأخیر زمانی (TDNN) با تابع آستانه سیگموئید لگاریتمی نتایج بهتری نسبت به شبکه‌های پرسپترون چند لایه (MLP)^۲ نشان می‌دهد.

اهداف این تحقیق آبرگیری اسمزی سیب زمینی توسط محلول اسمزی آب نمک در غلظت، دما، زمان و نسبت‌های مختلف نمونه به محلول اسمزی، و تعیین درصد رطوبت، جذب مواد جامد، کاهش آب و بالاخره مدل سازی کینتیک انتقال جرم فرآیند آبرگیری اسمزی سیب زمینی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. در انتها به منظور بررسی تأثیر تغییرات در هر یک از متغیرهای ورودی به شبکه بر روی متغیرهای خروجی آن از آزمون تحلیل حساسیت استفاده شد.

مواد و روش‌ها

خشک کردن اسمزی

در ابتدا سیب زمینی تهیه شده از بازار، شسته شده و مواد خارجی و ذرات خاک، به خوبی از آن جدا گردید. سپس مدتی در آبکش قرار داده شد تا آب آن به طور کامل گرفته شود. بعد از آن سیب زمینی، مرحله پوست گیری را طی کرده و با استفاده از یک چاقوی استیل، ورقه‌هایی به ضخامت ۶ میلی متر از آن جدا شد. با استفاده از قالبی آلومینیومی قطعاتی به شکل مستطیل با ابعاد ۳ در ۲ سانتی متر آماده گردید. متوسط درصد رطوبت سیب زمینی قبل از آبرگیری $0.8 \pm 0.87/9$ بود (۶). نمک به عنوان عامل اسمزی^۳ از درجه خوراکی تهیه گردید.

برای انجام تیمارهای اسمزی، از قبل محلول اسمزی (آب نمک با بریکس‌های ۵، ۱۰ و ۱۵) تهیه شد و در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری گردید. مقدار ۴۰ گرم نمونه

مدل سازی و ارزیابی مدل‌ها باشد. معمولاً در مدل سازی برای انتخاب مقادیر پارامترها قدری عدم اطمینان وجود دارد و باید این مقادیر را تخمین زد. تحلیل حساسیت این امکان را می‌دهد که سطحی از دقت لازم برای یک پارامتر در نظر گرفته شود تا مدل به اندازه کافی مفید و ارزشمند باشد. تحلیل حساسیت همچنین قادر است تعیین کند استفاده از کدام مقادیر پارامترها در مدل منطقی است (۸).

همانطور که اشاره شد این آزمون مستلزم داشتن یک مدل است؛ در این مطالعه از مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۱ استفاده گردید. یک شبکه عصبی مصنوعی مجموعه‌ای از عناصر محاسباتی (نرون) بوده که عملکردی مشابه نرون‌های زیستی دارند. این مجموعه قادر است بدون هیچ دانش قبلی از فرآیند مورد بررسی، ارتباط ذاتی بین داده را کشف نماید (۲۳).

پژوهشگران متعددی از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل سازی کینتیک آبرگیری اسمزی استفاده کرده‌اند. به عنوان مثال اوچا مارتیز و همکاران (۲۰۰۷) از شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور مدل سازی کینتیک آبرگیری اسمزی سیب استفاده کردند. این محققان بیان نمودند مدل شبکه عصبی مصنوعی دارای ۱ لایه پنهان و ۴ نرون در لایه پنهان نسبت به مدل‌های رگرسیونی کارایی بهتری برای پیشگویی درصد جذب مواد جامد و کاهش آب دارد. بهروزی خزاعی و همکاران به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی محتوای رطوبتی انگور را طی خشک کردن با جریان هوای گرم پیش بینی کردند. در تحقیق آنها اثر عوامل دما و سرعت هوا نیز بر تغییرات محتوای رطوبتی بررسی شد. در نهایت پس از به دست آمدن تغییرات محتوای رطوبتی با زمان نتیجه گرفتند که شبکه عصبی با

2- Multi Layer Perceptron

3- Osmotic agent

1- Artificial Neural Network

انجام آزمایشات در غالب طرح فاکتوریل^۲ و با ۳ تکرار، تعداد ۳۲۴ تیمار بدست آمد و داده‌های حاصل از آن برای مدل سازی با ANN استفاده شد.

مدل سازی با ANN

برای مدل سازی با ANN از نرم افزار *Neurosolution* نسخه ۵ استفاده شد. نوع شبکه طراحی شده پرسپترون چند لایه (MLP) بود که در آن لایه ورودی شامل ۴ نرون (نسبت وزنی، دما، زمان و غلظت محلول اسمزی) و لایه خروجی شامل ۳ نرون (درصد کاهش آب، درصد جذب مواد و درصد رطوبت) بود. ساختار این شبکه چندلایه در شکل (۱) نشان داده شده است. بهینه سازی ساختار ANN با بررسی توپولوژی‌های^۳ مختلف شبکه و نیز ارزیابی اختلاف بین خروجی‌های شبکه عصبی و داده‌های آزمایشی انجام گرفت. برای بهینه سازی ساختار ANN، پارامترهای مختلف شبکه نظیر تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌ها در هر لایه پنهان، قوانین یادگیری و تعداد دوره‌های یادگیری باید ارزیابی شود. به منظور یافتن بهترین توپولوژی متناسب با مسأله خشک کردن اسمزی سیب زمینی، تعداد ۳ لایه پنهان با ۳۵ عدد نرون در هر لایه و ۵۰۰۰ دوره یادگیری آزمایش شد. در نرون‌های لایه پنهان از تابع تانژانت هایپربولیک (معادله ۳) و در لایه خروجی از تابع خطی استفاده گردید.

سیب زمینی توزین شده، برای جلوگیری از تبادل رطوبت با هوا و نیز تغییر رنگ، در ظروف دربسته نگهداری گردید. تیمار اسمزی در دماهای ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد انجام گرفت. نسبت نمونه به محلول اسمزی در ۳ سطح (۱:۶، ۱:۸، ۱:۱۰) تنظیم شد. پس از به اتمام رسیدن زمان تیمار مورد نظر (۱، ۲، ۳ و ۴ ساعت)، بلافاصله محتویات ظرف نمونه بر روی آبکش ریخته شد تا آب نمک، خارج شده و قطعات سیب زمینی روی آن باقی بماند. قطعات سیب زمینی باقیمانده، روی کاغذهای جاذب الرطوبه^۱ قرار گرفت تا قطرات آب نمک چسبیده به آن جدا شود؛ سپس بلافاصله نمونه‌ها با ترازوی دیجیتالی توزین شد و مقادیر آن ثبت گردید.

برای اندازه گیری مقدار رطوبت، درصد کاهش آب و درصد جذب مواد جامد، سیب زمینی خارج شده از محلول اسمزی داخل پتری دیش قرار گرفت و به آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد انتقال داده شد و بعد از رسیدن به وزن ثابت، وزن نهایی ثبت گردید. جهت محاسبه درصد کاهش آب و درصد جذب مواد جامد از روابط زیر استفاده شد:

$$\%WL = \frac{(M_i - M_o)}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

$$\%SG = \frac{(S_i - S_o)}{W_i} \times 100 \quad (2)$$

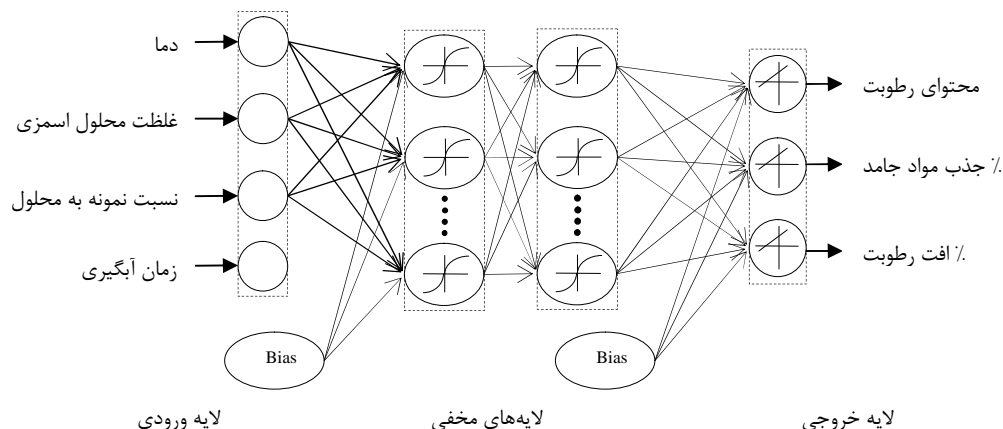
که در این دو رابطه M_i مقدار رطوبت نمونه سیب زمینی قبل از تیمار اسمزی، M_o مقدار رطوبت نمونه بعد از تیمار اسمزی، S_i مقدار ماده خشک نمونه سیب زمینی قبل از تیمار اسمزی، S_o مقدار ماده خشک نمونه بعد از تیمار اسمزی و W_i وزن اولیه نمونه می‌باشد (۱۲).

با توجه به انتخاب ۳ سطح نسبت سیب زمینی به محلول اسمزی، ۳ سطح دما، ۴ سطح زمان، ۳ غلظت آب نمک و

2- Factorial test

3- Topology

1- Absorbent paper



شکل ۱. ساختار شبکه عصبی با دو لایه مخفی برای پیش بینی محتوای رطوبت، درصد جذب مواد جامد و میزان از دست دادن رطوبت نمونه‌های سیب زمینی طی آگیری اسمزی

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

$$\tanh = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (۳)$$

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

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

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

در معادلات فوق T و O بترتیب مقادیر پیشگویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی و واقعی داده i ام، N تعداد داده ها و 2 واریانس داده ها می باشد. T_m با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

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

آموزش شبکه عصبی به روش پس انتشار خطا انجام گرفت. در این روش، محاسبات از ورودی شبکه به سوی خروجی شبکه انجام می شود. سپس مقادیر خطا محاسبه شده و به لایه‌های قبل انتشار یافته و بردارهای وزن از آخرین لایه به سوی نخستین لایه، بتدریج طوری تغییر می کند که خطای پیشگویی کمتر گردد. برای این منظور به ترتیب ۴۰٪، ۳۰٪ و ۳۰٪ داده‌های تجربی برای آموزش، ارزیابی و معتبرسازی شبکه مورد استفاده قرار گرفت (محبی، ۱۳۸۵).

به منظور مقایسه کارایی شبکه‌های عصبی مختلف برای پیشگویی پارامترهای کینتیکی مورد بررسی، از شاخص‌های میانگین مربع خطا^۱، میانگین مربع خطای نرمالیزه شده^۲، میانگین خطای مطلق^۳ و ضریب همبستگی^۴ استفاده گردید (روابط ۴-۱۸):

- 1- Mean-squared error (MSE)
- 2- Normalized mean-squared error (NMSE)
- 3- Mean absolute error (MAE)
- 4- Correlation coefficient (r)

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت این قابلیت را دارد که انجام آن پارامترهای اثرگذار بر خروجی های شبکه عصبی را مشخص می کند. در واقع این روش بیانگر رابطه علت و معلولی بین ورودی ها و خروجی های شبکه است. طی این عمل مشابه زمانیکه وزن های شبکه بدون تأثیرند، یادگیری شبکه از کار می افتد. تئوری پایه آن بدین صورت است که ورودی های شبکه اندکی تغییر داده می شوند و تغییر متناظر در خروجی شبکه گزارش می گردد. مؤلفه کنترل فعال سازی^۱ با افزایش ناچیز مقدار ورودی به صورت موقت، برای تحلیل حساسیت داده ورودی تولید می کند. تغییر متناظر در خروجی که با مؤلفه معیار خطا^۲ گزارش می شود، به عنوان داده حساسیت ارائه می گردد (۱۳). برای آزمون تحلیل حساسیت نیز از نرم افزار *Neurosolution* نسخه ۵ استفاده شد.

آنالیز آماری

آنالیز واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار آماری *MSTAT* نسخه C صورت گرفت. برای این کار از طرح آزمایشی کاملاً تصادفی استفاده شد و سطح آماری معنی داری ۹۵ درصد احتمال بود.

نتایج و بحث

تأثیر آبیگری اسمزی بر کینتیک انتقال جرم

میانگین مقادیر درصد رطوبت، میزان از دست دادن رطوبت و درصد جذب مواد جامد بعد از فرآیند خشک کردن اسمزی نمونه های سیب زمینی برای کلیه تیمارها در جدول (۱) آورده شده است.

در جدول (۲) قسمتی از جدول تجزیه واریانس برای

درصد رطوبت، میزان از دست دادن رطوبت و درصد جذب مواد جامد آمده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش دما، غلظت محلول اسمزی، زمان تیمار، و نیز کاهش نسبت سیب زمینی به محلول اسمزی، میزان از دست دادن رطوبت و درصد جذب مواد به صورت معنی داری افزایش و درصد رطوبت کاهش می یابد ($P < 0/01$). بنابراین نمونه هایی که در محلول اسمزی ۱۵٪ با دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و نسبت ۱ به ۱۰ به مدت ۴ ساعت قرار داشتند، دارای بیشترین میزان از دست دادن رطوبت (۴۵/۵۴٪) و درصد جذب مواد جامد (۸/۳۱٪) و کمترین درصد رطوبت (۶۷/۶٪) بودند.

افزایش میزان WL و SG و نیز کاهش درصد رطوبت در اثر زیاد شدن دما را می توان به تأثیر دما بر افزایش نفوذپذیری غشای سلولی به تبادلات آب و نمک توجه نمود. از طرف دیگر با افزایش غلظت نمک محلول، فشار اسمزی در بافت سیب زمینی زیادتر می شود که افزایش میزان WL و SG و نیز کاهش درصد رطوبت را در پی دارد. روشن است که با افزایش مقدار محلول اسمزی نسبت به نمونه های سیب زمینی، اختلاف فشار اسمزی در مدت زمان بیشتری حفظ می گردد و در نتیجه انتقال جرم بهتر انجام می شود که این منجر به کاهش درصد رطوبت نمونه های خشک شده سیب زمینی شده است.

توگرول و اسپیر (۲۲) در بررسی کینتیک آبیگری اسمزی زردآلو توسط محلول های اسمزی مختلف به نتایج مشابهی دست یافتند. در نتایج آنها مشاهده شد که میزان جذب مواد جامد و کاهش آب طی مراحل ابتدایی آبیگری سریع تر بوده ولی با افزایش زمان فرآیند کاهش می یابد. آنها این پدیده را به بالا بودن اختلاف فشار اسمزی در ابتدای فرآیند نسبت دادند.

1- Activation control component

2- Error criteria component

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار درصد رطوبت (MC)، میزان از دست دادن رطوبت (WL) و درصد جذب مواد جامد (SG) بعد از فرآیند خشک کردن اسمزی نمونه‌های سیب زمینی در غلظت‌ها، دماها، زمان‌ها و نسبت‌های مختلف سیب زمینی به محلول اسمزی

دما برد نسب ت	نمونه کس	محتوای رطوبت (%)												درصد جذب مواد جامد						
		درصد افت رطوبت				درصد رطوبت (۱ ساعت)				درصد رطوبت (۲ ساعت)										
۴	۳	۲	۱	۴ ساعت	۳ ساعت	۲ ساعت	۱ ساعت	۴ ساعت	۳ ساعت	۲ ساعت	۱ ساعت	۴ ساعت	۳ ساعت	۲ ساعت	۱ ساعت					
۳	۵	۱:۶	۵	۰	۲۴/۰۴	۶۶±۰/۶۶	۵۹±۰/۶۶	±۰/۲۵	±۰/۰۱	±۰/۴۲	±۰/۲۰	±۰/۱۲	۲۹/۲۹	۲۸/	۲۵/	۲۴/۱۰	۸۲/۵۱	۸۲/۶۳	۸۳/۵۶	۸۴/۰۳
۳	۵	۱:۸	۵	۰	±۰/۰۸	±۰/۱۸	±۰/۳۶	±۰/۰۷	±۰/۱۳	±۰/۰۱	±۰/۸۱	±۰/۱۹	±۰/۱۲	±۰/۲۱	±۰/۲۲	±۰/۱۳	±۰/۱۲	±۰/۲۱	±۰/۱۳	±۰/۱۳
۳	۵	۱:۱	۵	۰	±۰/۰۶	±۰/۲۳	±۰/۰۵	±۰/۰۶	±۰/۲۴	±۰/۷۹	±۰/۷۲	۶۱±۰/۲۶	±۰/۱۳	±۰/۰۶	±۰/۱۱	±۰/۰۱	±۰/۱۳	±۰/۰۶	±۰/۱۱	±۰/۰۱
۳	۱۰	۱:۶	۱۰	۰	±۰/۱۶	±۰/۰۹	±۰/۱۵	±۰/۲۳	±۰/۵۱	±۰/۵۲	±۰/۹۷	±۰/۶۹	±۰/۳۵	±۰/۲۵	±۰/۴۰	±۰/۴۲	±۰/۳۵	±۰/۲۵	±۰/۴۰	±۰/۴۲
۳	۱۰	۱:۸	۱۰	۰	±۰/۲۴	±۰/۲۱	±۰/۲۶	±۰/۲۱	۶۶±۰/۰۴	۴۶±۰/۴۶	±۰/۵۳	±۰/۰۸	±۰/۲۹	±۰/۳۹	±۰/۳۹	±۰/۲۶	±۰/۲۹	±۰/۳۹	±۰/۲۶	±۰/۲۶
۳	۱۰	۱:۱	۱۰	۰	±۰/۴۳	±۰/۴۱	±۰/۳۵	±۰/۲۶	±۰/۱۲	±۰/۰۴	±۰/۸۸	±۰/۹۹	±۰/۵۳	±۰/۵۰	±۰/۶۳	۶۶±۰/۵۶	±۰/۵۳	±۰/۵۰	±۰/۶۳	±۰/۵۶
۳	۱۵	۱:۶	۱۵	۰	±۰/۱۵	±۰/۲۰	±۰/۳۳	±۰/۲۴	±۰/۵۵	±۰/۵۵	±۰/۱۷	±۰/۴۸	±۰/۳۴	±۰/۴۱	±۰/۳۳	±۰/۱۵	±۰/۳۴	±۰/۴۱	±۰/۳۳	±۰/۱۵
۳	۱۵	۱:۸	۱۵	۰	±۰/۰۵	±۰/۲۱	±۰/۱۴	±۰/۰۵	±۰/۰۱	±۰/۴۱	±۰/۳۴	±۰/۱۶	±۰/۰۶	±۰/۳۸	±۰/۲۵	±۰/۱۰	±۰/۰۶	±۰/۳۸	±۰/۲۵	±۰/۱۰
۳	۱۵	۱:۱	۱۵	۰	±۰/۱۴	±۰/۲۶	±۰/۱۵	±۰/۰۹	±۰/۲۱	±۰/۵۶	±۰/۵۰	±۰/۳۰	±۰/۲۳	±۰/۴۹	±۰/۲۲	±۰/۱۹	±۰/۲۳	±۰/۴۹	±۰/۲۲	±۰/۱۹
۴	۵	۱:۶	۵	۰	±۰/۰۴	±۰/۰۴	±۰/۱۱	±۰/۱۱	±۰/۱۵	±۰/۰۰	±۰/۲۵	±۰/۰۷	±۰/۰۸	±۰/۰۴	±۰/۱۸	±۰/۱۴	±۰/۰۸	±۰/۰۴	±۰/۱۸	±۰/۱۴
۴	۵	۱:۸	۵	۰	±۰/۱۱	±۰/۰۳	±۰/۰۶	±۰/۱۱	±۰/۲۰	±۰/۳۶	۷۹±۰/۶۶	±۰/۳۶	±۰/۱۳	±۰/۱۳	±۰/۲۳	±۰/۲۱	±۰/۱۳	±۰/۱۳	±۰/۲۳	±۰/۲۱
۴	۵	۱:۱	۵	۰	±۰/۰۳	±۰/۰۹	±۰/۱۰	±۰/۰۶	±۰/۲۰	±۰/۱۶	±۰/۴۰	±۰/۱۱	±۰/۰۹	±۰/۱۵	±۰/۲۱	±۰/۰۴	±۰/۰۹	±۰/۱۵	±۰/۲۱	±۰/۰۴
۴	۱۰	۱:۶	۱۰	۰	±۰/۰۶	±۰/۰۵	±۰/۲۳	±۰/۱۱	±۰/۰۱	±۰/۱۹	±۰/۳۶	±۰/۲۱	±۰/۰۷	±۰/۰۰	±۰/۱۷	±۰/۰۸	±۰/۰۷	±۰/۰۰	±۰/۱۷	±۰/۰۸
۴	۱۰	۱:۸	۱۰	۰	±۰/۰۹	±۰/۱۰	±۰/۱۰	±۰/۲۰	±۰/۵۰	±۰/۱۸	±۰/۰۴	±۰/۵۱	±۰/۲۶	±۰/۰۶	±۰/۱۲	۲۶±۰/۳۶	±۰/۲۶	±۰/۰۶	±۰/۱۲	±۰/۳۶
۴	۱۵	۱:۱	۱۵	۰	±۰/۰۵	±۰/۱۵	±۰/۱۵	±۰/۲۹	±۰/۲۵	±۰/۲۲	±۰/۵۹	±۰/۱۴	±۰/۱۴	±۰/۲۵	±۰/۳۴	±۰/۲۹	±۰/۱۴	±۰/۲۵	±۰/۳۴	±۰/۲۹
۴	۱۵	۱:۶	۱۵	۰	±۰/۰۲	±۰/۲۰	±۰/۲۵	±۰/۰۸	±۰/۲۲	±۰/۴۸	±۰/۵۲	±۰/۱۸	±۰/۱۱	±۰/۳۹	±۰/۴۶	±۰/۱۴	±۰/۱۱	±۰/۳۹	±۰/۴۶	±۰/۱۴
۴	۱۵	۱:۸	۱۵	۰	±۰/۱۸	±۰/۱۶	±۰/۲۸	±۰/۲۵	±۰/۱۳	±۰/۰۸	±۰/۲۵	۲۶±۰/۳۶	±۰/۲۵	±۰/۲۲	±۰/۴۰	±۰/۴۷±۰/۴	±۰/۲۵	±۰/۲۲	±۰/۴۰	±۰/۴۷±۰/۴
۶	۱۵	۱:۱	۱۵	۰	±۰/۳۳	±۰/۳۹	±۰/۵۶	±۰/۱۴	±۰/۴۰	±۰/۵۱	±۰/۴۶	±۰/۲۰	±۰/۵۳	±۰/۶۳	±۰/۸۰	±۰/۲۲	±۰/۵۳	±۰/۶۳	±۰/۸۰	±۰/۲۲
۶	۵	۱:۶	۵	۰	±۰/۳۵	±۰/۲۴	±۰/۲۰	±۰/۲۹	±۰/۵۷	±۰/۱۸	±۰/۳۱	±۰/۳۵	±۰/۵۸	±۰/۳۱	±۰/۳۰	±۰/۱۴	±۰/۵۸	±۰/۳۱	±۰/۳۰	±۰/۱۴
۶	۵	۱:۸	۵	۰	±۰/۲۳	±۰/۰۹	۸۰±۰/۱	±۰/۲۱	±۰/۱۲	±۰/۴۳	±۰/۳۰	±۰/۲۶	±۰/۲۹	±۰/۲۳	±۰/۱۹	±۰/۱۶	±۰/۲۹	±۰/۲۳	±۰/۱۹	±۰/۱۶
۶	۵	۱:۱	۵	۰	±۰/۰۹	±۰/۱۷	±۰/۱۱	±۰/۰۶	±۰/۲۰	±۰/۷۲	±۰/۲۴	±۰/۲۳	±۰/۱۸	±۰/۴۴	±۰/۰۵	±۰/۱۳	±۰/۱۸	±۰/۴۴	±۰/۰۵	±۰/۱۳
۶	۱۰	۱:۶	۱۰	۰	±۰/۰۹	±۰/۰۹	±۰/۱۶	±۰/۰۵	±۰/۰۰	±۰/۱۱	±۰/۴۸	±۰/۰۰	±۰/۰۹	±۰/۱۴	±۰/۳۳	±۰/۰۵	±۰/۰۹	±۰/۱۴	±۰/۳۳	±۰/۰۵
۶	۱۰	۱:۸	۱۰	۰	±۰/۰۳	±۰/۲۷	±۰/۰۶	±۰/۰۷	±۰/۰۰	±۰/۲۱	±۰/۲۲	±۰/۱۳	±۰/۰۳	±۰/۳۸	±۰/۰۱	±۰/۱۲	±۰/۰۳	±۰/۳۸	±۰/۰۱	±۰/۱۲
۶	۱۰	۱:۱	۱۰	۰	۷/۲۰	۵/۳۰	۴/۴۹	۳/۴۵	۴۰/۳۵	۳۷/۱۴	۳۴/۳۵	۳۲/۶۳	۷۱/۲۴	۷۴/۵۸	۷۶/۴۶	۷۸/۱۵	۷۱/۲۴	۷۴/۵۸	۷۶/۴۶	۷۸/۱۵

±۰/۱۶	±۰/۱۶	±۰/۱۹	±۰/۱۱	±۰/۰۷	۳۶±۰/۴۶	±۰/۰۴	±۰/۰۹	±۰/۲۱	±۰/۳۷	۶۶±۰/۲۲	±۰/۱۰	۱:۱	۱۰	۶
۷/۳۴	۵/۸۹	۴/۷۱	۳/۷۱	۴۱/۰۵	۳۹/	۳۵/۹۴	۳۴/۱۹	۷۰/۷۹	۷۳/۰۷	۷۵/	۷۷/۳۶	.	.	.
±۰/۰۸	±۰/۱۶	±۰/۱۱	±۰/۱۰	۶۴±۰/۰۶	±۰/۳۶	±۰/۰۸	۳۶±۰/۱۶	±۰/۱۱	±۰/۳۴	±۰/۱۰	±۰/۱۷	۱:۶	۱۵	۶
۷/۷۵	۶/۳۴	۵/۱۱	۴/۰۵	۴۴/	۴۱/۵۹	۳۸/۰۸	۳۶/	۶۸/۶۷	۷۱/۶۴	۷۴/۴۴	۷۶/۲۹	.	.	.
±۰/۱۰	±۰/۱۴	±۰/۲۶	±۰/۲۶	±۰/۰۷	±۰/۰۵	±۰/۸۳	±۰/۱۲	±۰/۱۵	±۰/۱۸	±۰/۱۶	±۰/۳۴	۱:۸	۱۵	۶
۸/۱۵	۶/۵۱	۵/۲۹	۴/۱۶	۴۵/۳۵	۴۲/۴۸	۳۸/۷۸	۳۶/۹۵	۶۷/۹۳	۷۱/۰۵	۷۳/۹۷	۷۵/۹۲	.	.	.
±۰/۰۱	±۰/۰۹	±۰/۰۷	±۰/۲۳	±۰/۰۹	±۰/۳۸	±۰/۱۴	±۰/۱۱	±۰/۰۳	±۰/۲۷	±۰/۱۴	±۰/۲۹	۱:۱	۱۵	۶
۸/۳۱	۶/۷۴	۵/۵۸	۴/۵۳	۴۵/۵۴	۴۳/۰۳	۳۹/۲۹	۳۷/۴۹	۶۷/۶۰	۷۰/۵۵	۷۳/۴۵	۷۵/۳۱	.	.	.

جدول ۲. تجزیه واریانس برای درصد رطوبت، میزان از دست دادن رطوبت و درصد جذب مواد جامد آبیگری اسمزی سیب زمینی

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییرات
درصد جذب مواد جامد	درصد افت رطوبت	محتوای رطوبت (%)		
۵۳۸/۴۴**	۹۶۴/۹۹**	۱۳۲۷/۰۳**	۲	A
۵۰/۷۹**	۱۲۸۱/۴۶**	۳۶۹/۹۷**	۲	B
۳/۷۲**	۱۱۷/۸۰**	۲۹/۴۳**	۲	C
۵۲/۳۵**	۵۷۸/۸۷**	۲۴۴/۴۳**	۳	D
۰/۴۸**	۱۳/۶۲**	۸/۸۸**	۴	A×B
۰/۲۲**	۰/۴۲*	۰/۸۷**	۴	A×C
۱۳/۹۴**	۳۵/۰۷**	۴۳/۷۵**	۶	A×D
۰/۱۱*	۵/۰۰**	۰/۳۵**	۴	B×C
۰/۱۲**	۵/۵۲**	۰/۲۱*	۶	B×D
۰/۰۳ ^{NS}	۰/۴۷**	۰/۰۴ ^{NS}	۶	C×D
۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۰۹	۲۱۶	خطا
			۳۲۳	کل

A دمای محلول اسمزی، B غلظت محلول، C نسبت سیب زمینی به محلول، D زمان تیمار، NS غیر معنی دار
**p=0.01; *p=0.05

جدول ۳. بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای مدل سازی فرآیند آبیگری اسمزی سیب زمینی

نوع شبکه	پرسپترون چند لایه
تابع انتقال در لایه‌های مخفی اول و دوم	تانژانت هایپربولیک
تابع انتقال در لایه خروجی	خطی
قاعده یادگیری	لونیگ مارکوورت
دوره یادگیری	۱۰۰۰
تعداد لایه‌های پنهان	۲
تعداد نورون ها در لایه مخفی اول	۸ عدد
تعداد نورون ها در لایه مخفی دوم	۱۰ عدد
معیار سنجش	کمترین میانگین مربع خطا

الگوریتم لونیگ مارکوورت^۱ که یکی از الگوریتم‌های آموزشی پرکاربرد است و به منظور بهنگام سازی وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد، آموزش شبکه را بسیار سریع انجام داده و سطح خطای موجود را حداقل می سازد.

مدل سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ساختار بهینه ANN جهت مدل سازی فرآیند خشک کردن اسمزی طی آزمون و خطا به دست آمد. جدول (۳) بهترین ساختار ANN و پارامترهای مربوط را نشان می دهد.

در واقع این الگوریتم برای افزایش سرعت یادگیری شبکه طراحی شده است.

جدول (۴) نحوه آموزش شبکه را طی دوره‌های آموزشی (۱۰۰۰ دوره) بیان می‌نماید. جدول (۵) کارایی شبکه را در پیش بینی میزان WL، SG و درصد رطوبت برای داده‌های آزمون نشان می‌دهد که MSE پایین نشانگر توانایی شبکه در پیش بینی مقادیر تغییرات این پارامترها در نتیجه تغییر غلظت محلول اسمزی، دمای تیمار اسمزی، نسبت وزن سیب زمینی به محلول اسمزی و زمان غوطه وری می‌باشد.

جدول ۴. نحوه آموزش شبکه عصبی مصنوعی طی دوره‌های آموزشی

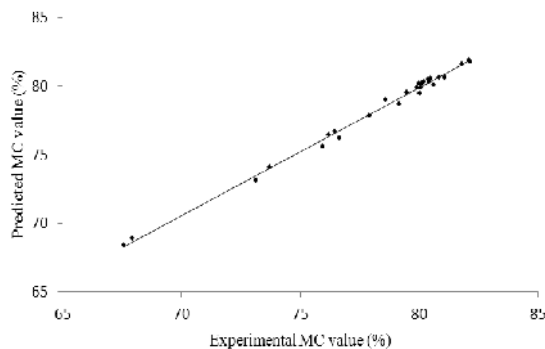
ارزیابی	آموزش	بهترین شبکه
۲۵	۱۰۰۰	Epoch
۰/۰۰۱۳۶۴۵۹۳	۰/۰۰۰۲۲۸۰۷۲	Minimum MSE
۰/۰۰۳۳۱۴۲۵۳	۰/۰۰۰۲۲۸۰۷۲	Final MSE

جدول ۵. کارایی شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی مقادیر WL، SG و درصد رطوبت فرآیند آبیگری اسمزی سیب زمینی

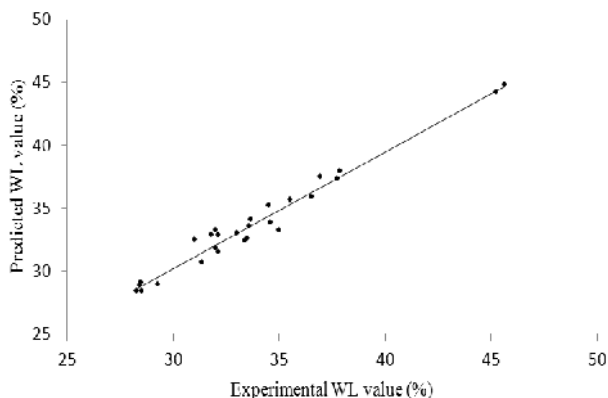
کارایی شبکه	محتوای رطوبت (%)	درصد افت رطوبت	درصد جذب مواد جامد
MSE	۰/۱۳۰۴	۰/۵۹۹۲	۰/۰۵۵۷
NMSE	۰/۰۱۰۰	۰/۰۲۹۷	۰/۰۱۳۱
MAE	۰/۲۷۵۸	۰/۶۲۴۶	۰/۱۷۸۳
Min Abs Error	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۸
Max Abs Error	۱/۲۸۲۶	۲/۱۸۷۵	۰/۸۳۴۳
r	۰/۹۹۵۴	۰/۹۸۵۳	۰/۹۹۴۵

نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی به ترتیب دارای ۸ و ۱۰ نرون در لایه‌های مخفی اول و دوم کمترین میزان میانگین مربع خطا، میانگین مربع خطای نرمالیزه شده و میانگین خطای مطلق را برای پیشگویی درصد رطوبت (به ترتیب برابر ۰/۱۳۰۴، ۰/۰۱ و ۰/۲۷۵۸)، درصد میزان از دست دادن رطوبت (به ترتیب برابر ۰/۵۹۹۲، ۰/۰۲۹۷ و ۰/۶۲۴۶) و درصد جذب مواد جامد (به ترتیب برابر ۰/۰۵۵۷، ۰/۰۱۳۱ و ۰/۱۷۸۳) قطعات سیب زمینی آبیگری شده دارد.

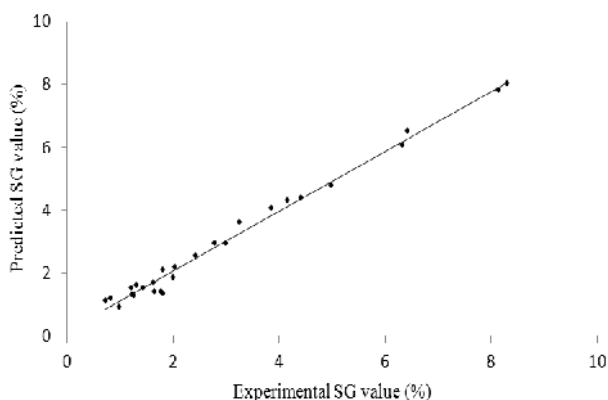
میزان کارایی شبکه عصبی مصنوعی بهینه در پیشگویی درصد رطوبت، درصد کاهش آب و جذب مواد جامد قطعات سیب زمینی طی آبیگری اسمزی، در مورد داده‌های آزمون که حین آموزش شبکه به آن نشان داده نشده است، به ترتیب در شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) آورده شده است. در این شکل‌ها مقادیر واقعی پارامترهای کینتیکی سیب زمینی آبیگری شده در مقابل مقادیر پیشگویی شده آمده است. مقادیر بالای ضریب همبستگی (۰/۹۹۵۴، ۰/۹۸۵۳ و ۰/۹۹۴۵) به ترتیب برای درصد رطوبت، درصد میزان از دست دادن رطوبت و درصد جذب مواد جامد گویای کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی در پیشگویی پارامترهای کینتیکی انتقال جرم طی فرآیند آبیگری اسمزی سیب زمینی می‌باشد.



شکل ۲. مقادیر واقعی درصد رطوبت در مقابل مقادیر پیشگویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی بهینه (ضریب همبستگی برابر ۰/۹۹۵۴)



شکل ۳. مقادیر واقعی درصد افت رطوبت در مقابل مقادیر پیشگویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی بهینه (ضریب همبستگی برابر ۰/۹۸۵۳)



شکل ۴. مقادیر واقعی درصد افزایش مواد جامد در مقابل مقادیر پیشگویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی بهینه (ضریب همبستگی برابر ۰/۹۹۵۴)

تحلیل حساسیت ورودی‌های شبکه بهینه در مدل پیشنهاد شده برای تخمین کینتیک آبیگری اسمزی قطعات سیب زمینی در شکل (۵) نشان داده شده است. از شکل چنین بر می‌آید که از بین متغیرهای ورودی به شبکه و در شرایط برابر تأثیر پارامتر نسبت نمونه به محلول اسمزی بر روی تمامی خروجی‌های مدل پیشنهاد شده بیشترین است. یعنی در نتیجه تغییر جزئی این نسبت شاهد تغییرات زیادی در پارامترهای کینتیکی آبیگری اسمزی سیب زمینی خواهیم بود. می‌توان حساسیت بالای پارامترهای کینتیکی به این متغیر را به اثر همزمان آن بر مدت زمان حفظ اختلاف فشار اسمزی و فضای تبادلات نسبت داد. از طرف دیگر تغییرات

هرناندز، پرز و همکاران (۹) که فرآیند خشک کردن انبه و کاساوا را توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی پیشخور چند لایه با پنج ورودی میزان چروکیدگی، دما، زمان، سرعت و رطوبت هوا و دو خروجی دما و رطوبت مدل سازی کرده بودند، ملاحظه کردند که کمترین ریشه میانگین مربع خطای^۱ داده‌های آزمون با در نظر گرفتن یک لایه مخفی و سه نرون در آن حاصل می‌شود (۰/۵۱۷) برای انبه و (۰/۵۵۲) برای کاساوا). در مطالعه آنها ضریب تعیین برای پیش بینی رطوبت و دما به ترتیب یک و ۰/۹۱ بدست آمد.

1- Root mean-squared error (RMSE)

رطوبت و درصد جذب مواد به صورت معنی داری افزایش و درصد رطوبت کاهش یافت. همچنین مشخص گردید که ANN دارای دو لایه پنهان و به ترتیب ۸ و ۱۰ نرون در لایه‌های مخفی اول و دوم، بیشترین توانایی را در مدل سازی تأثیر پارامترهای عملیاتی بر کینتیک خشک کردن اسمزی دارد. نتایج به دست آمده نشان از قابلیت شبکه عصبی به عنوان ابزاری توانمند برای پیش بینی پارامترهای کینتیک خشک کردن اسمزی دارد که می تواند در دیگر سیستم‌های کنترل اتوماتیک خشک کردن نیز بکار برده شود. همچنین تحلیل حساسیت ورودی‌های شبکه بهینه در مدل پیشنهاد شده برای تخمین کینتیک آبیگری اسمزی قطعات سیب زمینی نشان داد که پارامتر نسبت نمونه به محلول اسمزی بر روی تمامی خروجی‌های این مدل بیشترین تأثیر را دارد.

قدردانی

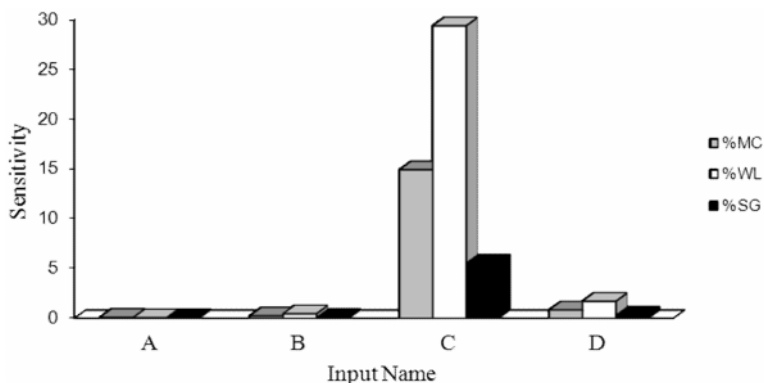
از آقای دکتر مظاهری تهرانی که تجهیزات آزمایشگاهی این تحقیق را در اختیار گذاشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

در سایر متغیرهای ورودی شبکه به خصوص پارامتر دمای محلول اسمزی، اثر ناچیزی بر خروجی‌های این شبکه می‌گذارند.

اوجا مارتینز و آیالا اپونت (۲۰۰۷) در بررسی آبیگری اسمزی قطعات استوانه ای سیب با شبکه عصبی مصنوعی، به این نتیجه رسیدند که غلظت محلول اسمزی بیشترین تأثیر را بر کینتیک انتقال جرم و بخصوص افت رطوبت دارد؛ این در حالی بود که در مطالعه آنها تغییرات در سایر متغیرها تأثیر معنی داری بر خروجی‌های مدل شبکه عصبی بهینه نداشت و در میان آنها زمان غوطه وری کمترین تأثیر را داشت.

نتیجه گیری

در این مطالعه مقادیر درصد رطوبت، جذب مواد جامد و کاهش آب سیب زمینی آبیگری شده طی فرآیندهای مختلف آبیگری اسمزی تعیین و کینتیک انتقال جرم آن توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل سازی گردید. با افزایش دما، غلظت محلول اسمزی، زمان تیمار، و نیز کاهش نسبت سیب زمینی به محلول اسمزی، میزان از دست دادن



شکل ۵. تحلیل حساسیت شبکه عصبی بهینه (A)، دمای محلول اسمزی؛ B، غلظت محلول اسمزی؛ C، نسبت نمونه سیب زمینی به محلول اسمزی و D، زمان غوطه وری

منابع

- (۱) بهروزی خزاعی ن، ت، توکلی، ر، امیری چایجان، و م. ه، خوش تقاضا. ۱۳۸۷. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش-بینی محتوای رطوبتی در طی فرآیند خشک کردن انگور، پنجمین کنگره ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، مشهد، ایران.
- (۲) فرجی هارمی ر. ۱۳۷۱. اصول نگهداری مواد غذایی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شیراز، صفحه ۲۸۰.
- (۳) نیلی احمدآبادی ع. ۱۳۷۷. راهنمای تولید سیب زمینی، نشر آموزش کشاورزی وزارت کشاورزی، سازمان تحقیقات و ترویج کشاورزی.
- (۴) محبی م. ۱۳۸۵. کاربرد سیستم‌های هوشمند در خشک کردن میگو، پایان نامه دکترا، دانشگاه فردوسی مشهد.
- 5) Alaeddini, B., and Z. Emam-Djomeh. 2004. Formulation and quality improvement of dried kiwifruit slices using an osmotic pre-treatment. Proceedings of 14th International Drying Symposium, 2127-2132.
 - 6) AOAC .1990. Association of Official Analysis Chemists Official methods of analysis, Washington.
 - 7) Bolin, H. R. 1983. Effects of osmotic agents and concentration on fruit quality. Journal of Food Science, 48, 202-205.
 - 8) Forrester, J. W., L., Breierova, and M., Choudhari. 2001. An introduction to sensitivity analysis, Massachusetts Institute of Technology.
 - 9) Hernandez-Perez, J. A., M. A., Garcia-Alvarado, G., Trystram, and B. Heyd. 2004. Neural networks for the heat and mass transfer prediction during drying of cassava and mango. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 5, 57-64.
 - 10) Holdsworth, S. D. 1986. Advances in dehydration of fruits and vegetables. In "Concentration and Drying of Food". D. McCarthy, Editor. Elsevier Applied Sci. Pub. LTD.
 - 11) <http://www.potato2008.org/en/world/index.html> [20 June 2008].
 - 12) Lazarides, H. N., G. E., Mitrakas, and K. I. Matsos. 2007. Edible coating and counter-current product/solution contacting: A novel approach to monitoring solids uptake during osmotic dehydration of a model food system. Journal of Food Engineering, 82, 171-177.
 - 13) Lefebvre, C., J., Principe, D., Samson, D., Wooten, and G. Geniesse. 2005. NeuroSolutions, 5.00 ed. NeuroDimension, Inc.
 - 14) Lenart, A. 1996. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology application. Drying Technology, 14(2), 391-413.
 - 15) Lenart, A., and Dabrowska, R. 1999. Kinetics of osmotic dehydration of apples with pectin coatings. Drying Technology, 17, 1359-1373.
 - 16) Lericci, C. R., G., Pinnava, M., Dalla Rosa, and L. Bartolucci. 1985. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. Journal of Food Science, 50, 1217-1229.
 - 17) Lewicki, P. P., and A. Lenart. 1995. Osmotic dehydration of fruits and vegetables, Handbook of Industrial drying, Marcel Dekker, Inc., New Yourk, Basel and Hongkong, 691-713.
 - 18) Mohebbi, A., Taheri, M., & Soltani, A. 2008. A neural network for predicting saturated liquid density using genetic algorithm for pure and mixed refrigerants. International Journal of Refrigeration, 31, 1317-1327.
 - 19) Ochoa-Martínez, C. I., H. S., Ramaswamy and A. A. Ayala-Aponte. 2007. ANN-based models for moisture diffusivity coefficient and moisture loss at equilibrium in osmotic dehydration process. Drying Technology. 25:5, 775 -783.
 - 20) Ochoa-Martínez, C. I., and A. A. Ayala-Aponte, 2007. Prediction of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of apples using neural networks. LWT - Food Science and Technology. 40:4, 638-645.
 - 21) Sitkiewicz, I., Lenart, A., and P. P. Lewicki. 1996. Mechanical properties of osmotic- convection dried

- apples. *Journal of Food and Nutrition Science*, 5, 105-112.
- 22) Togrul, I., and A. Ispir, 2007. Effect on effective diffusion coefficients and investigation of shrinkage during osmotic dehydration of apricot. *Energy Conversion and Management*, 48, 2611-2621.
- 23) Vinod, K. J., and C. Vikrant. 2002. Neural networks approach to modeling food processing operations. P1-3, In: Irudayaraj, J. *Food processing operations modeling: design and analysis*. Marcel Dekker, New York.