بیست و یکمین کنگره ملی
علوم و صنایع غذایی ایران
۷ تا ۹ آبان ۱۳۹۲ - دانشگاه شیراز
21st National Congress of Food Science and Technology

کاربرد شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی میزان چروکیدگی در طی فرایند خشک کردن به

محمّد نوشاد [۱]، محبّت محبّی [۲]، فخری شهیدی [۳]، سیّد علی مرتضوی [۳]

۱- دانشجوی دکترای مهندسی علوم و صنایع غذایی – دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی – دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی – دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده:

در این تحقیق خواص خشک شدن میوه به (Cydonia oblonga) در یک خشک کن هوای داغ با استفاده از پیش تیمار فراصوت-اسمز مورد مطالعه قرار گرفت. یکی از مهم ترین تغییرات فیزیکی که در زمان خشک کردن مواد غذایی همراه با نفوذ رطوبت به خارج از ماده اتفاق می افتد، چروکیدگی می باشد. به منظور پیش بینی میزان چروکیدگی میوه به، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، آزمایشاتی در سه سطح دمایی از ۶۰ تا ۸۰، زمان خشک کردن بین ۴ تا ۶ ساعت و در سه بار تکرار در یک خشک کن لایه نازک انجام شد. پس از انجام آزمایش ها، داده ها به محیط شبکه عصبی منتقل شدند. به منظور توسعه مدل های شبکه عصبی مصنوعی ابتدا داده ها به ۳ بخش آموزش (۶۰ ٪)، اعتبار سنجی (۱۵٪) و آزمون (۲۵٪) مدل ها تقسیم شدند. شبکه ها با ساختار پرسپترون چند لایه آموزش داده شدند. معیار انتخاب بهترین شبکه بیشترین ضریب تبیین و کمترین مقدار متوسط مربع خطا (MSE) بود. در پیش بینی میزان چروکیدگی میوه به، شبکه سه لایه با ساختار ۱-۱۰-۳ بهترین نتیجه را داد. این شبکه در لایه پنهان ۱۰ نرون دارد. مقادیر ضریب تبیین و MSE آن به ترتیب ۰/۹۸۲۸ و $1.29\ e^{-4}$ می باشد. از نتایج این تحقیق می توان در طراحی خشک کن های صنعتی بهره گرفت.

واژگان کلیدی: *میوه به، خشک کردن لایه نازک، چروکیدگی، شبکه عصبی، مدل سازی*

مقدمه

خشک کردن یکی از قدیمی ترین روش های نگهداری میوه ها و سبزی ها می باشد و ایران از دیرباز به دلیل موقعیت آب و هوایی خاص خود یکی از بزرگترین تولیدکننده های بزرگ خشکبار در دنیا بوده است. چروکیدگی مواد غذایی یکی از رایج‌ترین تغییرات فیزیکی طی فرایند خشک کردن می‌باشد. کاهش آب و حرارت بالا باعث اعمال تنش به ساختار سلولی و میکروسکوپی مواد غذایی شده، در نتیجه موجب تغییر شکل و کاهش ابعاد ماکروسوپی می-گردد. تغییر شکل، کاهش حجم و افزایش سختی محصول طی فرایند خشک کردن باعث عدم تمایل مصرف‌کنندگان به مصرف این فراورده‌ها می‌شود. علاوه بر این چروکیدگی باعث کاهش انتقال جرم به دلیل کاهش سطح موثر و سخت شدن پوستهٔ مواد غذایی می‌شود (مایور و سرنو، ۲۰۰۴). بنابراین انتخاب روش مناسب برای خشک کردن و یا استفاده از پیش تیمارهای مناسب قبل از فرایند خشک کردن می تواند تا حدود بسیار زیادی سبب بهبودی ویژگی های کیفی محصول نهایی خشک شده شود. یکی از مهم ترین معیارها برای انتخاب روش خشک کردن، نوع ماده اولیه، ویژگی ها و کاربرد فراورده های خشک شده نهای می باشد. استفاده از پیش تیمار اسمز، یکی از متداول ترین روش ها برای خشک کردن میوه و سبزی ها می باشد (آزوبل و همکاران، ۲۰۰۹؛ آنتونیو و همکاران، ۲۰۰۸).

اعمال پیش تیمار قبل از خشک کردن، با استفاده از امواج فراصوت شامل غوطه وری ماده غذایی در آب یا در یک فاز آبی هایپرتونیک [۱] است. فرناندز و همکاران در سال های ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹؛ محبی و همکاران در سال ۲۰۱۰، آزوبل و همکاران در سال ۲۰۱۰، استفاده از امواج فراصوت بعنوان پیش تیمار را قبل از خشک کردن با هوای داغ در مورد محصولات مختلف بررسی کردند. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان داده است که تغییرات ناشی از اعمال امواج فراصوت در نمونه های غوطه ور در آب نسبت به نمونه های غوطه ور در محلول ساکارز بسیارکمتر بوده است. نمونه هایی که

1-Hypertonic

در آب تحت تأثیر امواج فراصوت قرار گرفته اند نسبت به نمونه هایی که در محلول اسمزی تحت تأثیر امواج فراصوت قرار گرفته اند، در مدت زمان کمتری خشک شدند. همچنین نمونه های غوطه ور در محلول اسمزی که تحت تأثیر امواج فراصوت قرار گرفته اند نسبت به نمونه هایی که فقط اسمز شده اند دیرتر خشک گردیدند، احتمالاً استفاده از امواج فراصوت در محلول اسمزی سبب اتصال و بهم پیوستن مواد جامد محلول در بافت میوه شده که در نتیجه سبب ایجاد مانعی، در برابر خروج رطوبت از بافت گردیده است.

به طور کلی برای مدل کردن پدیده های فیزیکی مانند میزان چروکیدگی محصولات کشاورزی از روش های معمول حل معادلات (موازنه جرم و انرژی) استفاده می شود اما به دلیل وقت گیر بودن حل این معادلات روش های سریع تری چون شبکه عصبی مصنوعی هم موجود است. شبکه های عصبی مصنوعی از عناصر عملیاتی ساده ای به صورت موازی ساخته می شوند. این عناصر از سیستم های عصبی زیستی الهام گرفته شده اند. شبکه های عصبی از دو ویژگی اساسی یادگیری براساس ارائه داده های تجربی و ساختار پذیری موازی برخوردار می باشند. این شبکه ها برای مسائل کنترل، علی الخصوص سیستم های پیچیده که مدل سازی این سیستم ها میسر نیست یا به سختی انجام می شود مناسب می باشد. علی‌رغم مزایای زیادروش‌های مدل‌سازی ریاضی، محدودیت‌هایی از قبیل انتخاب پارامترها، اعمال پیش‌فرض‌ها برای حل معادلات دیفرانسیل و پیچیدگی حل معادلات سبب می‌شود استفاده ازروش‌های ناپارامتری مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی در حل مسائل خشک‌کردن توسعه‌پیدا کند، زیرا روش حل در شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر ضرب ضرایب وزنی در قالب پردازش موازی است. از این رو سرعت دست‌یابی به جواب دراین روش نسبت به‌روش‌های مدل‌سازی ریاضی بیشتر است. لذا برای اعمال سیستم کنترل، مناسب‌تر است. از سوی دیگر به‌علت توزیع اطلاعات در شبکه‌های عصبی مصنوعی، خطای ایجاد شده‌دراطلاعات‌ورودی تأثیر نامطلوب بر پردازش داده‌ها نخواهد داشت.

هم‌چنین با توجه‌به‌درنظر گرفتن پارامترهای کیفی و عدم امکان محاسبهٔآن باروش‌های مدل‌سازی ریاضی،روش شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی هم‌زمان پارامترهای خروجی مناسب است. شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌دلیل وفقی بودن، قابلیت اعتماد بیشتری نسبت به‌مدل‌های آماری دارند و قابلیت تعمیم و تقریب آنها بیشتر است. در این زمینه تحقیقات زیادی صورت گرفته است مانند: امید و همکاران (۲۰۰۹)، اسلام و همکاران (۲۰۰۳).

هدف از این پژوهش پیش بینی میزان چروکیدگی اسلایس های به خشک شده با استفاده از پیش تیمار فراصوت- اسمز در طول فرایند خشک کردن با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی می باشد.

مواد و روش ها

در این مطالعه، میوه به مورد استفاده رقم نیشابور بود که از بازار مشهد تهیه گردید. به های مصرفی تا هنگام استفاده در دمای ۵ -۴ درجه سانتی گراد در یخچال نگهداری شدند. پس از پوست گیری، میوه ها به منظور جلوگیری از قهوه ای شدن در محلول ۱ درصد متابی سولفیت سدیم به مدت ۵ دقیقه غوطه ور شدند. سپس نمونه ها از محلول خارج شده، با استفاده از کاغذهای جاذب آب اضافی آن ها گرفته شد. بعد از این مرحله به ها توسط قالب به شکل اسلایس هایی به ضخامت ۹ میلی متر و قطر ۲۸ میلی متر برش داده شدند.

نمونه های تهیه شده درون آب مقطر غوطه ور شدند و با توجه به آزمایش‌های اولیه، بازه زمان ۲۷ دقیقه برای این مرحله انتخاب شد. این آزمایش ها درون حمام فراصوت مدل (SCHAPER Unique USC 25 kHz) تحت دمای محیط صورت پذیرفت. فرکانس و شدت میدان مورد استفاده در این آزمایش به ترتیب ۲۵ kHzو۵۰۰W بود. نسبت میوه به آب مقطر در کل آزمایش ها ۱ به ۲۰ در نظر گرفته شد. پس از طی شدن زمان مورد نظر، برش های به از آب مقطر خارج گردیده، پس از حذف رطوبت سطحی بوسیله کاغذ صافی، نمونه‌ها به درون محلول اسمزی منتقل شدند(نوشاد و همکاران، ۲۰۱۱).

محلول اسمزی ساکارز با غلظت ۵۰ درصد (w/w) تهیه گردید و دمای آن توسط گرم کن مجهز به همزن مغناطیسی به ۵۰ سانتی گراد رسانده شد. نمونه های آبگیری شده پس از طی زمان مورد نظر از درون محلول اسمزی خارج گردیدند و به منظور حذف شربت شکر از سطح آن توسط آب مقطر شسته و بلافاصله با کاغذ صافی خشک و مجدداً توزین شدند. به منظور حصول شرایط پایدار در سیستم، خشک کن به مدت ۳۰ دقیقه قبل از فرایند روشن و سپس سینی حاوی نمونه ها در محفظه خشک کن قرار داده می‌گرفت (نمونه های شاهد یعنی بدون پیش تیمار و نمونه هایی که تحت تأثیر پیش تیمار فراصوت - اسمز قرار گرفتند). آزمایش در دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد و سرعت هوای ورودی m/s ۱/۵ انجام شد. (نوشاد و همکاران،۲۰۱۱).

اندازه گیری درصد چروکیدگی

برای اندازه گیری چروکیدگی، نمونه ها در فواصل زمانی ۴،۵ و ۶ ساعت از خشک کن خارج و تغییرات حجم نمونه ها با استفاده از روش جابجایی مایع توسط تولوئن تعیین گردید (رضوی و اکبری، ۱۳۸۵).

مدل سازی شبکه عصبی

شبکه های عصبی مصنوعی به عنوان یکی از شاخه های هوش مصنوعی به دلیل دارا بودن ساختار پردازش موازی دارای سرعت پردازش بسیار بالایی هستند. شبکه عصبی مصنوعی متشکل از مجموعه ای از نرون ها با ارتباطات داخلی بین یکدیگر می باشد که قادر است بر اساس اطلاعات و داده های ورودی، جواب های خروجی را تخمین بزند. در شبکه های عصبی، حافظه ی شبکه در مقادیر پیوندهای موجود بین نرون ها و به شکل وزن های هر پیوند ذخیره می شود. در این فرایند آموزش به معنای روند تغییر وزن ها تا حصول نتیجه ی مشخص (به دست آوردن خروجی مطلوب از شبکه) و یاد گیری به معنای مرحله ی نهایی آموزش و تثبیت وزن های سیناپسی است. به منظور بررسی و ارزیابی شبکه های مختلف، داده ها به صورت تصادفی به سه قسمت تقسیم شدند، به طوری که ۶۰ درصد داده ها برای آموزش، ۲۰ درصد داده ها برای ارزیابی و ۲۰ درصد داده ها برای تست شبکه استفاده شد. در حین آموزش شبکه، زمانی که خطای بین داده های آموزش و ارزیابی در حال افزایش باشد، فرایند آموزش قطع می شود. در طی فرایند آموزش، شبکه های عصبی مصنوعی به کمک داده های آموزشی، ارتباط بین نرون ها را در هر چرخه ی آموزش یاد می گیرند تا که مقادیر پیش بینی شده به مقادیر خروجی مطلوب نزدیک شود و مقادیر خطای حاصل از مقادیر خطای مشخص شده کمتر گردد. پارامترهای ترکیبی مانند تعداد لایه های پنهان، تعداد نرون ها، تعداد چرخه ی آموزش (Epoch) در طی فرایند آموزش شبکه ی عصبی و به روش آزمون و خطا تعیین می شود. بررسی قابلیت تعمیم شبکه ی عصبی آموزش دیده، آخرین مرحله در توسعه ی مدل شبکه عصبی مصنوعی است. در این مرحله مدل های شبکه ی عصبی آموزش دیده به وسیله ی مجموعه داده های ارزیابی که مستقل از دادههای آموزش است مورد آزمون قرار می گیرد. برای یافتن شبکه ای با معماری مناسب از از شاخص های میانگین مربع خطا (MSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب همبستگی (R^2) استفاده گردید. در ذیل به این معادلات اشاره شده است:

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

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \left| O_i - T_i \right|$$

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

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

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^{N} O_i}{N}$$

نتایج

با توجه به این که شبکه های عصبی ابزار مناسبی برای به دست آوردن مدل های پیچیده غیر خطی بوده که برای محاسبه آن ها نیاز به حل معادلات پیچیده نمی باشد و برای آموزش شبکه به داده های ورودی- خروجی که در آزمایشگاه به دست آمده اند نیازمند است. ابزار مناسبی برای حل معادلات و یافتن مدل مناسب می باشد. برای اجرای این برنامه از شبکه پرسپترون چند لایه با تابع آموزش لونبرگ مارکوارت استفاده شد. در ابتدای شروع اجرای برنامه با یک نرون آموزش شروع گردید تا نهایت ۱۰ نرون آموزش داده شد. جدول ۱، بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی و پارامترهای مربوط را نشان می دهد. جدول ۲، نحوه آموزش شبکه را طی دوره های آموزشی (۱۰۰۰ دوره) بیان می نماید. جدول ۳، کارایی شبکه را در پیش بینی میزان محتوی رطوبتی برای داده های آزمون نشان می دهد که MSE پایین نشانگر توانایی شبکه در پیش بینی مقادیر تغییرات این پارامتر می باشد.

جدول۱. بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای مدل سازی فرایند آب گیری مجدد قطعات به

نوع شبکه	پرسپترون چند لایه
تابع انتقال در لایه مخفی	Sigmoid Axon
قاعده یادگیری	لونبرگ مارکوارت
دوره یادگیری	۱۰۰۰
تعداد لایه های پنهان	۱
تعداد نرون ها در لایه مخفی	۱۰ عدد
معیار سنجش	کمترین میانگین مربع خطا

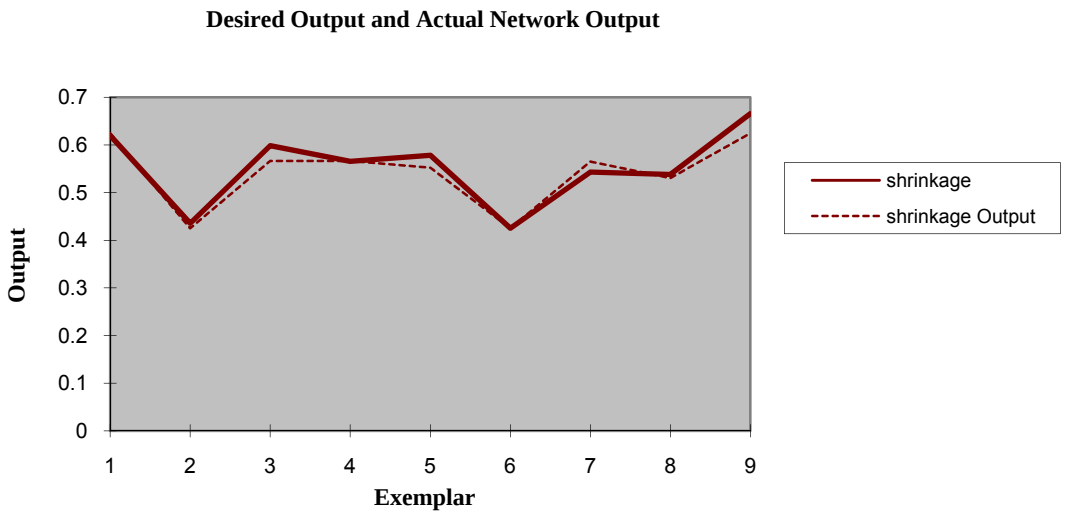
جدول ۲. نحوه آموزش شبکه عصبی مصنوعی طی دوره های آموزشی

بهترین شبکه	آموزش	ارزیابی
Epoch	۱۰۰۰	۱۲
Minimum MSE	۰/۰۰۷۶۸	۰/۰۲۲۴
Final MSE	۰/۰۰۷۶۸	۰/۰۲۵۲

جدول ۳. کارایی شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی مقدار محتوی رطوبتیدر فرایند آب گیری مجدد قطعات به

کارایی شبکه	MSE	MAE	Min Abs Error	Max Abs Error	r
	۰/۰۰۰۱۲۹	۰/۰۰۹۷	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱۶۶	۰/۰۱۸۲۶	۰/۹۸۲۸

میزان کارایی شبکه عصبی مصنوعی بهینه در پیش گویی محتوی رطوبتی قطعات به طی آب گیری مجدد، در مورد داده های آزمون که حین آموزش شبکه به آن نشان داده نشده است، در شکل ۱، آورده شده است. در این شکل مقادیر واقعی میزان محتوی رطوبتی نمونه ها در مقابل مقادیر پیشگویی شده آمده است. مقادیر بالای ضریب همبستگی گویای کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی در پیشگویی میزان محتوی رطوبتی طی فرایند آب گیری مجدد قطعات به می باشد.



شکل ۱. مقادیر واقعی میزان محتوی رطوبتی در مقابل مقادیر پیش گویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی

منابع

رضوی، س، م،ع.، اکبری، ر. ۱۳۸۵. خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و موادغذایی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

Antonio, GC., Alves, DG., Azoubel, PM., Murr, FEX., and KJ Park. 2008. Influence of Osmotic Dehydration and High Temperature Short Time Processes on Dried Sweet Potato (Ipomoeabatatas Lam). *Journal of Food Engineering*, **84**: 375–382.

Azoubel, PM., El-Aouar, ÂA., Tonon, RV., Kurozawa, LE., Antonio, GC., Murr, FEX., and Park, KJ. 2009. Effect of Osmotic Dehydration on the Drying Kinetics and Quality of Cashew Apple. *International Journal of Food Science & Technology*, **44**: 980-86.

Fernandes, FAN., Gallao, MI., and Rodrigues, S. 2009. Effect of Osmosis and Ultrasound on Pineapple Cell Tissue Structure During Dehydration. *Journal of Food Engineering*, **90**: 186-90.

Fernandes, FAN., Gallão, MI., and Rodrigues, S. 2008. Effect of Osmotic Dehydration and Ultrasound Pre-Treatment on Cell Structure: Melon Dehydration. *LWT-Food Science and Technology*, **41**: 604-10.

Fernandes, FAN., and Rodrigues, S. 2007. Ultrasound as Pre-Treatment for Drying of Fruits: Dehydration of Banana. *Journal of Food Engineering*, **82**: 261-67.

Fernandes, F., Rodrigues, S., Gaspareto, O., and Oliveira, E. 2006. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. *Food Research International*, **39(4)**:492-498.

Islam, Md Raisul, SS Sablani, and AS Mujumdar. (2003) "An Artificial Neural Network Model for Prediction of Drying Rates," *Drying Technology*, **vol. 21**, no. **9** 1867-84.

Mayor, I., and Sereno, A.M. 2004. Modeling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, **61**: 373-386.

Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., Mortazavi, S.A., 2011. Multiobjective optimization of osmotic-ultrasonic pre-treatments and hot air drying of quince using response surface methodology. Food and Bioprocess Technology, doi:10.1007/s11947-011-0577-8.

Omid, M, A Baharlooei, and H Ahmadi. (2009) "Modeling Drying Kinetics of Pistachio Nuts with Multilayer Feed-Forward Neural Network," *Drying Technology*, **vol. 27**, no. **10** 1069-77