

مقاله پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی و مدل‌سازی سینتیک خشک‌کردن شلتوک در خشک‌کن هوای گرم توسط شبکه عصبی مصنوعی

محمدابراهیم محمدپورمیر^۱، سارا ناناکناری^۲، کامیار موفرنژاد^{۳*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه ترموسینتیک و کاتالیست، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲. دانشجوی دکترا، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۳. استاد، گروه ترموسینتیک و کاتالیست، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

(تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۱۶، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۸/۱۰، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۳۰)

چکیده

با توجه به رطوبت بالای برنج در هنگام برداشت، یکی از روش‌های رایج جهت کاهش سرعت فساد، فرایند خشک کردن است. در این تحقیق به منظور بررسی سینتیک خشک کردن شلتوک با هوای گرم از سه متغیر سرعت هوای گرم، دمای هوای گرم و رطوبت نهایی به ترتیب در مقادیر $0/۶۵$ و $۰/۸$ و ۵۰ و ۶۵ و ۱۱ و ۱۳% استفاده شد. مدل‌سازی سینتیک خشک کردن شلتوک توسط شبکه عصبی پرسپترون چند لایه انجام شد. به منظور بررسی عملکرد الگوریتم‌های آموزش و توابع انتقال مختلف در پیش‌بینی رفتار خشک کردن شلتوک، از ۳ الگوریتم لونیبرگ مارکوارت، پس انتشار ارتجاعی و گرادینان نزولی مقیاسی و ۲ تابع انتقال تانژانت سیگموئید و سیگموئید لگاریتمی استفاده شد. نتایج حاصل از این بررسی بدین گونه بوده که حداکثر زمان خشک شدن در دمای ۵۰ °C، سرعت هوای گرم $۰/۶۵$ m/s و رطوبت نهایی ۱۱% تقریباً برابر با ۸ h و حداقل زمان خشک شدن در دمای ۶۵ °C، سرعت هوای گرم $۰/۸$ m/s و رطوبت نهایی ۱۳% معادل با ۱ h و ۲۱ min بوده است. بنابراین به طور کلی می‌توان گفت با افزایش دما، سرعت و رطوبت، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. همچنین، نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که مدل‌سازی به‌وسیله شبکه عصبی با الگوریتم آموزش لونیبرگ مارکوارت نسبت به سایر الگوریتم‌ها بهترین عملکرد را داشته و به‌طور کلی توپولوژی ۱-۱۱-۳ با الگوریتم آموزش لونیبرگ مارکوارت و تابع انتقال سیگموئید لگاریتمی کمترین خطا و بیشترین ضریب همبستگی نسبت به سایر حالات داشته است.

واژه‌های کلیدی: شلتوک، سینتیک خشک کردن، خشک‌کن هوای گرم، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه.

۱. مقدمه

لایه، ورودی، پنهان و خروجی است. هر ورودی به شبکه به یک وزن سیناپسی ضرب شده و با یک بایاس جمع می‌شود. از الگوریتم‌های مختلف برای آموزش شبکه استفاده می‌شود و داده‌ها به ۳ قسمت داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و تست تقسیم می‌شوند. پژوهشگران زیادی بر روی مدل‌سازی فرایند خشک‌کردن مواد غذایی توسط شبکه عصبی کار کرده‌اند که از این بین می‌توان به کوبیلوس و ریز اشاره کرد که برای پیش‌بینی خشک‌کردن قطعات هویج در یک خشک‌کن بسترسیال از شبکه عصبی استفاده کردند. منحنی‌های شبیه‌سازی به‌دست آمده با شبکه مذکور با دقت قابل قبولی به داده‌های آزمایشی برازش شدند. آن‌ها دریافتند که به‌کارگیری از شبکه عصبی برای تخمین در طراحی و انتخاب شرایط کاری بهینه مناسب می‌باشد [۷]. مؤمن زاده و همکاران نیز مطالعاتی بر روی خشک‌کردن پوست ذرت توسط میکروویو بستر سیال به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با تابع انتقال تانژانت سیگموئید و پس انتشار بالاترین دقت و کمترین خطا را در پیش‌بینی فرایند خشک‌کردن پوست ذرت دارد [۸]. کاک ماک و یلدیز با استفاده از شبکه عصبی پیشخور رفتار غیرخطی خشک‌کردن انگور را مدل‌سازی کردند. آن‌ها نرخ خشک شدن را با استفاده از یک مدل نمایی و با به‌کارگیری از رگرسیون غیرخطی و شبکه عصبی مصنوعی تقریب زدند. نتایج نشان دادند که روش شبکه عصبی دارای دقت و یکنواختی بیشتر در تخمین نرخ خشک شدن می‌باشد [۹]. اصغری و همکاران برای مدل‌سازی پارامترهای کیفی توت‌سفید در فرایند خشک شدن از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه استفاده کردند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با ساختار ۳-۸-۳ با تابع آستانه لگاریتمی و تانژانت سیگموئیدی دارای خطای کمتر و ضریب همبستگی بالاتری بوده است [۱۰]. یوسفی و همکاران نیز سینتیک خشک‌کردن برش‌های لیموترش به‌روش تابش مادون قرمز را با استفاده از شبکه عصبی هیبریدی و ۷ مدل رایج خشک کردن لایه نازک تحت ۲ متغیر زمان و ضخامت مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی هیبریدی دقت بالایی نسبت به ۷ مدل رایج داشته است و میزان خطا آن کمتر بوده و ضریب همبستگی بالایی داشته است [۱۱].

در بررسی دیگر، شاهپور جاهدی‌راد و همکاران، به بررسی و مدل‌سازی خشک کردن توت‌سفید در خشک‌کن مادون قرمز

برنج یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین مواد غذایی بشر است و پس از گندم به‌عنوان پر مصرف‌ترین ماده غذایی در ایران به شمار آمده و سطح وسیعی از اراضی کشور به کشت این محصول اختصاص دارد [۱]. برنج به‌صورت شلتوک برداشت می‌شود که معمولاً دارای رطوبت ۲۵-۲۰ درصد بر پایه تر است. رطوبت بالای این محصول در زمان برداشت سرعت واکنش‌های تخریب را افزایش و منجر به فساد شلتوک خواهد گردید. برای افزایش ماندگاری شلتوک می‌بایست رطوبت اولیه دانه‌ها را به ۱۰ تا ۱۳٪ کاهش داد که این امر توسط فرایند خشک شدن محقق می‌شود [۲]. با توجه به این که مراحل پوست‌کندن و سفید کردن بعد از مرحله خشک کردن انجام می‌شود، از این رو مرحله خشک کردن در بین مراحل تبدیل شلتوک به برنج سفید بسیار مهم بوده است. خشک کردن برنج با استفاده از خشک‌کن هوای گرم یکی از روش‌های متداول بوده و کاربرد وسیع در صنعت دارد. یکی از روش‌های خشک‌کن هوای گرم خشک‌کن سینی دار می‌باشد که در آن مواد غذایی در سینی‌هایی که در اتاقک داخل خشک‌کن تعبیه شده‌اند قرار می‌گیرد و توسط هوای گرم دمیده شده و توسط دمنده خشک می‌شوند.

خشک کردن محصولات کشاورزی، فرایندی دشوار و غیرخطی بوده و روابط بین پارامترهای ورودی و خروجی پیچیده و انتخاب مدلی ریاضی که قادر باشد رفتار دقیق خشک شدن محصولات را در وضعیت‌های مختلف بیان کند مشکل می‌باشد [۳]. از این رو باید سیستمی با توانایی بالا را برگزید تا بتواند سینتیک خشک شدن محصولات را با کمترین خطا پیش‌بینی کند.

روش‌های هوشمند، از دانش نهفته در داده‌های آزمایش استفاده کرده تا روابط ذاتی بین داده‌ها را کشف کند و به وضعیت‌های دیگر تعمیم دهد. یکی از روش‌های مهم و پرکاربرد هوش مصنوعی، شبکه‌های عصبی مصنوعی بوده است. این شبکه‌ها از مغز انسان الهام گرفته و اساس کار آن بدین شکل بوده که بعد از فرایند آموزش، اطلاعات مربوط به داده‌ها، در قالب وزن‌های شبکه ذخیره می‌شوند [۴]. شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی فرایندهای طبیعی موفق بوده‌اند و نسبت به روش‌های آماری موجود، مزایا و برتری زیادی داشته است [۵]. پردازش اطلاعات در این شبکه‌ها به‌صورت توزیع موازی بوده که ویژگی عملکردی همانند مغز انسان را دارد [۶]. شبکه عصبی شامل ۳

سیگموئید لگاریتمی استفاده شد و توانایی شبکه در پیش بینی سینتیک خشک شدن شلتوک تحت الگوریتم های آموزش، توابع انتقال و توپولوژی های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. و در نهایت بهترین مدل برای پیش بینی رفتار سینتیک خشک شدن شلتوک به وسیله شبکه عصبی مصنوعی ارائه گردید.

۲. مواد و روش ها

۲.۱. مواد

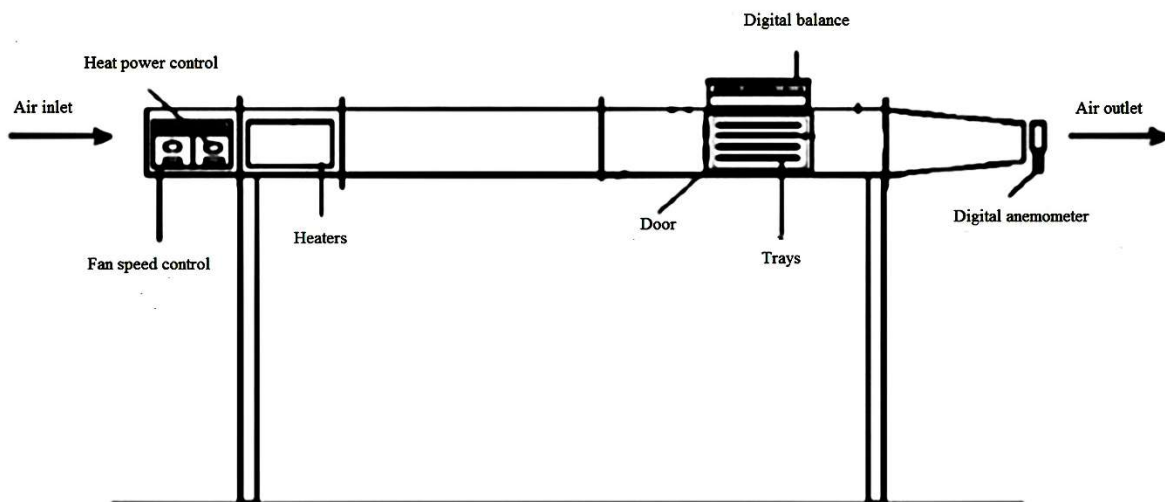
مقدار معینی شلتوک از نوع شیرودی که از ارقام پرمصرف برنج در مازندران می باشد، از روستای میرکلای بابل تهیه گردید. میزان رطوبت اولیه شلتوک که توسط رطوبت سنج تعیین گردید برابر با ۲۱٪ بر مبنای خشک بوده است.

۲.۲. دستگاه خشک کن

در صنعت انواع مختلفی از خشک کن های وجود دارد که یکی از رایج ترین آن ها، خشک کن سینی دار بوده که در این بررسی از نمونه آزمایشگاهی آن استفاده شده است. نمایی از این دستگاه در شکل (۱) نشان داده شده است. این دستگاه شامل تونل هوایی بوده که به وسیله چهارچوب فلزی روی کف آزمایشگاه، در ارتفاعی مناسب که باعث سهولت کار می شود، قرار می گیرد. هوا با عبور از یک شبکه محافظ فلزی وارد دستگاه شده و مکش هوا به وسیله گردش فن متصل شده به موتور، تأمین می گردد. در قسمت میانی تونل هوا چهار سینی وجود داشته که می توان نمونه های ماده ی خشک شونده را در آن ها قرار داد. این مجموعه

پرداختند. در این بررسی از ۳ متغیر سرعت جابه جایی هوا، دما و توان استفاده شده است. برای مدل سازی آن نیز از ۵ مدل ریاضی، مدل فازی و شبکه عصبی استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل میدلی در میان مدل های ریاضی بهترین عملکرد را داشته است و در مجموع مدل فازی توانسته مدل سازی بهتری را انجام دهد [۱۲].

در عملیات تبدیل شلتوک به برنج، فرایند خشک کردن از اهمیت بالایی برخوردار بوده و بر کیفیت، راندمان تبدیل و همچنین ماندگاری تاثیرگذار می باشد [۱۳]. بررسی سینتیک خشک شدن شلتوک و مدل سازی روند خشک شدن آن تحت شرایط مختلف جهت آگاهی از رفتار خشک کردن، در طراحی، شبیه سازی و بهینه سازی فرایند خشک کردن اهمیت دارند. به همین منظور و با توجه به این که اکثر خشک کن های مورد استفاده در شالی کوبی ها از نوع هوای گرم می باشد در این تحقیق نیز از این سیستم استفاده گردید. در این تحقیق به بررسی رفتار خشک شدن شلتوک تحت ۳ متغیر دمای هوا، رطوبت نهایی و سرعت هوا در خشک کن هوای گرم و به دست آوردن نمودار سینتیک خشک شدن برنج پرداخته شد. برای مدل سازی سینتیک خشک شدن شلتوک از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه استفاده شده است. به منظور بررسی الگوریتم های مختلف آموزش و توابع انتقال بر روی عملکرد شبکه عصبی، از ۳ نوع الگوریتم آموزش، لونیگ مارکوارت، پس انتشار ارتجاعی و گرادیان نزولی مقیاسی و دو تابع انتقا تانژانت سیگموئیدی و



شکل (۱) نمای شماتیک خشک کن سینی دار

Fig. 1. Schematic of tray dryer

۲۵ °C و تعداد کل آزمایش‌ها ۸ عدد بود که در سه تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی که در ۷ روز در آزمایشگاه عملیات واحد انجام شد.

۲.۳.۲. سینتیک خشک شدن

نرخ خشک شدن که بیانگر تغییرات مقدار رطوبت ماده نسبت به زمان بود تحت تاثیر پارامترهای فرایند خشک شدن مانند دمای هوای گرم، سرعت هوای گرم و رطوبت نهایی شلتوک بود. به منظور بررسی چگونگی رفتار خشک شدن نمونه‌ها تحت شرایط مختلف خشک کردن از نمودار نسبت رطوبت برحسب زمان استفاده شد.

رطوبت نمونه بر مبنای خشک از رابطه (۱) به دست آمد [۱۴]. در این رابطه W_0 بیانگر وزن اولیه نمونه و W_d بیانگر وزن نمونه خشک بوده است.

$$M = \frac{W_0 - W_d}{W_d} \quad (1)$$

میزان نسبت رطوبت از رابطه (۲) به دست آمد [۱۴]. در این رابطه MR بیانگر نسبت رطوبت، M_t بیانگر رطوبت در هر لحظه از زمان t ، M_0 بیانگر رطوبت اولیه و M_e بیانگر رطوبت تعادلی بود.

$$MR = (M_t - M_e) / (M_0 - M_e) \quad (2)$$

۲.۳.۲. شبکه عصبی

در این تحقیق از نرم افزار MATLAB R2017 برای ایجاد شبکه عصبی و مدل سازی استفاده شد. در این بررسی از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه جهت پیش بینی تغییرات میزان رطوبت استفاده شد. این شبکه دارای ۳ لایه ورودی، پنهان و خروجی می باشد. لایه ورودی شامل ۳ نرون و برابر با تعداد متغیرهای ورودی بود که در این بررسی زمان، دمای هوای گرم و سرعت هوای گرم متغیر ورودی بودند. لایه خروجی شامل یک نرون و برابر با تعداد متغیرهای خروجی بود که در این بررسی شامل مقدار رطوبت شلتوک برحسب نسبت رطوبت بود. تعداد نرون‌های لایه پنهان نیز به روش آزمون و خطا انتخاب شد تا خطای شبکه کمترین مقدار و شبکه نیز بهینه شود. ساختار کلی شبکه در شکل (۲) نشان داده شده است.

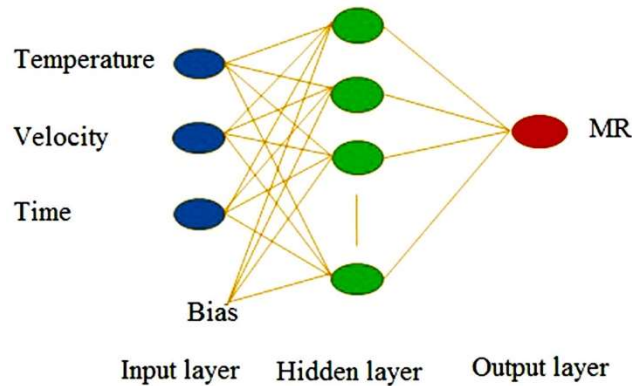
مجهز به ترازویی با مدل AND, EK-6000i و با دقت $\pm 0.1g$ می باشد که به وسیله آن می توان وزن مجموعه را در هر لحظه مشاهده کرد. از روی کاهش وزن مجموعه می توان میزان تغییرات رطوبت ماده را در طی فرایند محاسبه نمود. در پیچه شیشه‌ای نیز در بخش میانی تونل هوا، در قسمت ورودی سینی‌ها تعبیه شده و هوای عبوری از روی سینی‌ها از طریق کانال خروجی به هوای محیط تخلیه می گردد. در این بخش سرعت هوا را توسط بادسنج دیجیتال می توان اندازه گیری نمود. از آنجا که تنها یک سینی در قسمت میانی کانال هوا وجود دارد، میزان اتلاف سرعت بر اثر تماس با سینی چندان نبوده و از آن گذشته مقدار عددی این سرعت‌ها به طور مستقیم در محاسبات مورد استفاده قرار نمی گیرد و به عنوان مبنایی برای مقایسه به کار می روند به همین خاطر افت سرعت ناچیز هوا در هنگام عبور از سینی نادیده گرفته شد.

۳.۲. روش‌ها

۳.۲.۱. شرح آزمایش

در این تحقیق فرایند خشک کردن شلتوک با سه متغیر دمای هوا، سرعت جابه جایی هوای گرم و رطوبت نهایی به ترتیب در مقادیر $50^\circ C$ و $60^\circ C$ ، 0.8 m/s و 0.65 و 1.1 و 1.3 ٪ بر مبنای خشک بررسی گردید.

رطوبت اولیه شلتوک برداشت شده توسط دستگاه رطوبت سنج به دست آمد. به منظور عدم تغییر رطوبت، نمونه‌های خشک شده در پاکت‌های مخصوص قرار گرفته و در جای خنک نگهداری شدند. هر نمونه شامل 300 گرم شلتوک بوده که در دو سینی قرار گرفته که دستگاه خشک کن سینی دار شامل ۱ قفسه و ۴ سینی جهت نگهداری محصول بود. سینی‌های حاوی نمونه در داخل اتاقک خشک کن قرار داده، هوا از طریق یک دمنده دمیده و توسط المنت‌هایی که در مسیر هوا قرار داشت گرم شد. سپس هوای گرم از سینی‌ها عبور کرده و باعث انتقال حرارت به شلتوک شده و انتقال جرم از شلتوک صورت گرفته و رطوبت از آن خارج و در نتیجه شلتوک خشک شد. وزن شلتوک در هر لحظه از زمان به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت $\pm 0.1g$ که از طریق کابل به کامپیوتر متصل بود اندازه گیری و ثبت شد. سرعت هوای خشک کننده توسط یک سرعت سنج با دقت ± 0.1 m/s و دمای هوای خشک کننده توسط دماسنج اندازه گیری شد. دمای آزمایشگاه



شکل (۲) ساختار کلی شبکه عصبی

Fig. 2. Schematic of configuration of neural network

۳. نتایج و بحث

۱.۳. اثر دما، سرعت و رطوبت نهایی بر سینتیک خشک شدن

حداکثر زمان خشک شدن در رطوبت نهایی ۰.۱۱٪، مربوط به دمای 50°C و سرعت هوای گرم 0.65 m/s و تقریباً برابر با 8 h و حداقل زمان خشک شدن در همین رطوبت، در دمای 65°C و سرعت هوای گرم 0.8 m/s و تقریباً برابر با 2 h بود. همچنین حداکثر زمان خشک شدن در رطوبت نهایی ۰.۱۳٪ مربوط به دمای 50°C و سرعت 0.65 m/s و برابر با 4 h و 41 min و حداقل زمان خشک شدن در رطوبت نهایی ۰.۱۳٪ مربوط به دمای 65°C و سرعت 0.8 m/s و برابر با 1 h و 21 min بود.

با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان دریافت که در ابتدای واکنش، نمودار نسبت رطوبت برحسب زمان شیب تندی داشته و به راحتی ماده مورد نظر رطوبت خود را از دست داده و در مدت زمان کوتاه، رطوبت زیادی از نمونه‌ها خارج شده است. اما با گذشت زمان شیب نمودار کم و در مدت زمان زیاد، رطوبت کمی از نمونه‌ها خارج شده و ماده به سختی رطوبت از دست می‌دهد و انتقال رطوبت به کندی انجام می‌شود. با توجه به شکل‌ها، اگر دما و سرعت هوای گرم خشک کن افزایش یابد، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش سرعت و دما، میزان سرعت انتقال جرم افزایش یافته و رطوبت با سرعت بیشتری از نمونه‌ها خارج خواهد شد. همچنین اگر میزان رطوبت نهایی کمتر شود، خشک کن زمان بیشتری را سپری خواهد کرد تا به رطوبت نهایی برسد.

از ۲۱۶ داده مورد بررسی ۷۰٪ به آموزش، ۱۵٪ به اعتبارسنجی و ۱۵٪ به داده‌های تست تعلق گرفت. به منظور بررسی الگوریتم‌های مختلف آموزش در عملکرد شبکه عصبی از ۳ نوع الگوریتم لونیبرگ مارکوارت، پس انتشار ارتجاعی و گرادیان نزولی مقیاسی استفاده شد. همچنین به جهت بررسی کارایی توابع انتقال مختلف از ۲ تابع انتقال تانژانت سیگموئید و سیگموئید لگاریتمی استفاده گردید و در لایه خروجی از تابع خطی استفاده شد. معادله (۳) تابع انتقال تانژانت سیگموئید را نشان می‌دهد [۱۵].

$$F(x) = 2 / ((1 + \exp(-2x)) - 1) \quad (3)$$

معادله (۴) تابع انتقال سیگموئید لگاریتمی را نشان می‌دهد [۱۵].

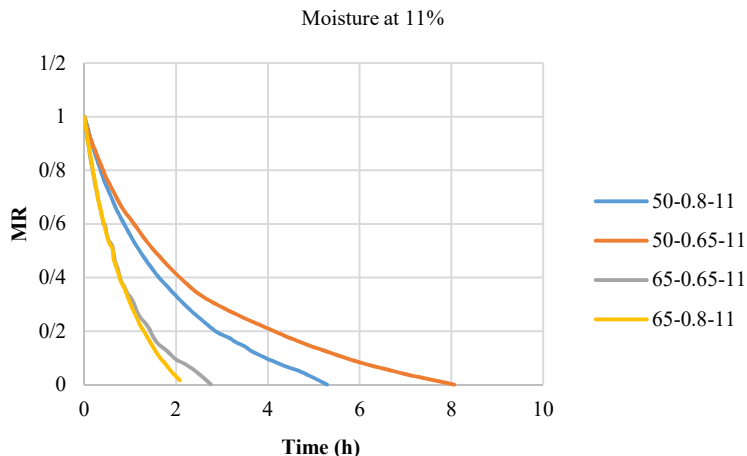
$$F(x) = 1 / (1 + \exp(-x)) \quad (4)$$

و در نهایت از دو پارامتر حداقل مربعات خطا و ضریب همبستگی به عنوان شاخص عملکرد شبکه عصبی در نظر گرفته شد تا بهترین مدل برای سینتیک خشک شدن به دست آید. حداقل مربعات خطا از رابطه (۵) و مقدار ضریب همبستگی نیز از رابطه (۶) به دست آمد.

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \quad (5)$$

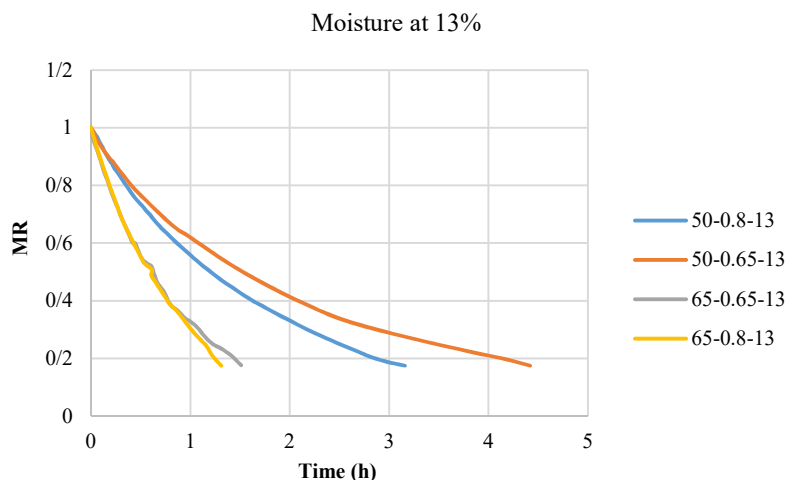
$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{(P_i - O)^2} \right) \quad (6)$$

که P_i مقدار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی، O_i مقدار واقعی و O میانگین داده‌ها بوده است [۱۶].



شکل (۳) نمودار نسبت رطوبت برحسب زمان در رطوبت ثابت ۱۱٪.

Fig. 3. Variation of relative humidity based on time at constant final moisture content of 11%.



شکل (۴) نمودار رطوبت نسبی برحسب زمان در رطوبت ثابت ۱۳٪.

Fig. 4. Variation of relative humidity based on time at constant final moisture content of 13%.

بود. توپولوژی ۱-۱۷-۳ با الگوریتم آموزش ارتعاش شعاعی با تابع انتقال تانژانت سیگموئید ضعیف‌ترین عملکرد را داشته و میزان خطای آن زیاد و ضریب همبستگی آن نسبت به حالات دیگر کم بود. به‌طور کلی می‌توان گفت الگوریتم آموزش لونیبرگ مارکواریت با ۲ تابع انتقال تانژانت سیگموئید و سیگموئید لگاریتمی بهتر از سایر الگوریتم‌ها عمل کرده و میزان خطا و ضریب همبستگی آن به ترتیب کم و زیاد بود. در شکل (۵) مقادیر خروجی به‌وسیله شبکه عصبی و خروجی واقعی برای داده‌های آموزش، تست، اعتبارسنجی و همچنین همه داده‌ها برای بهترین آرایش شبکه عصبی برای سینتیک خشک شدن ۱-۱۱-۳ رسم شد.

۲.۳ مدل‌سازی سینتیک خشک شدن توسط شبکه عصبی

به منظور پیش‌بینی رفتار خشک شدن شلتوک از شبکه عصبی استفاده گردید. مدل‌سازی توسط ۳ الگوریتم آموزش و ۲ تابع انتقال انجام شد. بهترین نتایج مدل‌سازی در جدول (۱) آورده شده است.

با توجه به جدول (۱) توپولوژی ۱-۱۱-۳ با الگوریتم لونیبرگ مارکواریت و تابع انتقال سیگموئید لگاریتمی بهترین عملکرد و میزان خطای آموزش، اعتبارسنجی و تست نسبت به حالات دیگر کمتر و همچنین ضریب همبستگی آن نیز از سایر موارد بیشتر

۴. نتیجه گیری

آموزش عملکرد بهتر و همچنین این الگوریتم با تابع انتقال سیگموئید لگاریتمی کمترین خطا و بالاترین ضریب همبستگی را داشت.

به طور کلی در دما و سرعت هوای گرم ثابت، هرچه رطوبت نهایی کمتر باشد، زمان خشک شدن افزایش می یابد. در دما و رطوبت ثابت، هرچه سرعت هوای گرم کمتر شود، زمان خشک شدن افزایش می یابد. در رطوبت و سرعت ثابت، هرچه دما پایین تر باشد، زمان خشک شدن افزایش می یابد. از بین ۳ الگوریتم لونیبرگ مارکوارت، پس انتشار ارتجاعی و گرادیان نزولی مقیاسی، الگوریتم لونیبرگ مارکوارت نسبت به سایر الگوریتم های

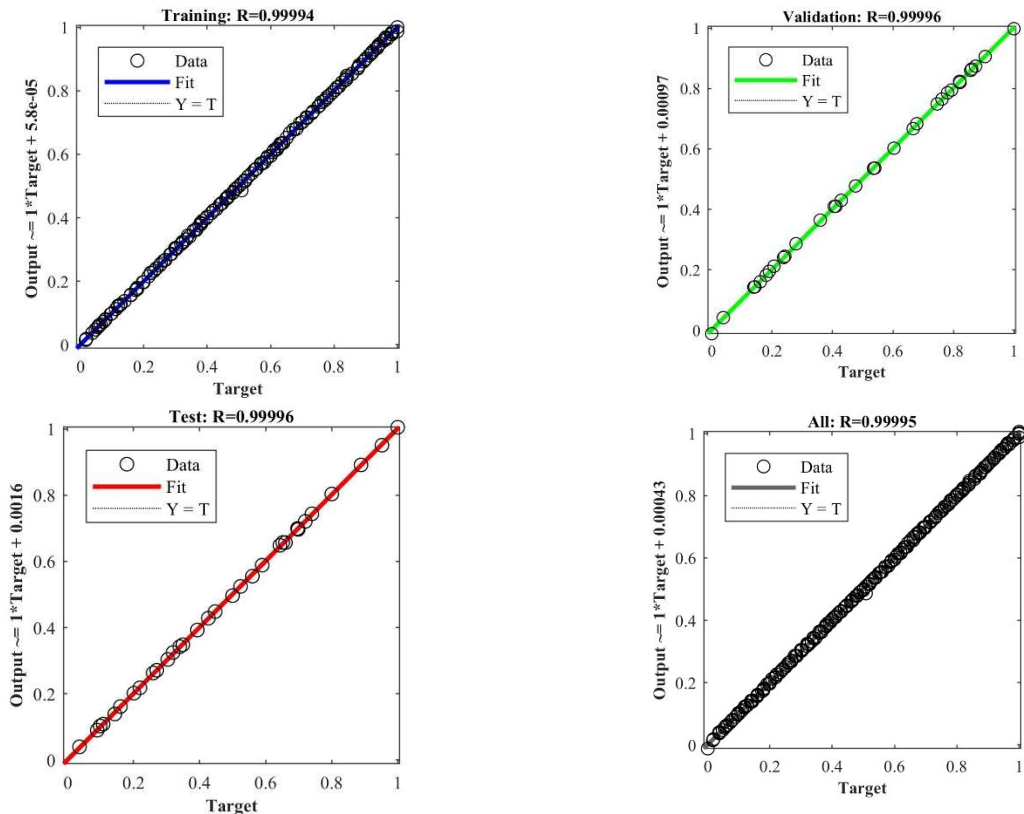
سپاسگذاری

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از حمایت دانشگاه صنعتی بابل از طریق اعتبار پژوهشی شماره BNUT/370675/97 اعلام می دارند.

جدول (۱) نتایج حاصل از مدل سازی.

Table 1 The results of modeling.

ضریب همبستگی تست	ضریب همبستگی اعتبارسنجی	ضریب همبستگی آموزش	میانگین مربعات خطا تست	میانگین مربعات خطا اعتبارسنجی	میانگین مربعات خطا آموزش	تابع انتقال	الگوریتم آموزش	توپولوژی
R^2 test	R^2 validation	R^2 train	MSE test	MSE validation	MSE train	Transfer function	Training Algorithm	Topology
0.9998	0.9998	0.9998	9.93×10^{-6}	8.56×10^{-6}	1.06×10^{-5}	tan	lm	3-18-1
0.9998	0.9998	0.9998	7.35×10^{-6}	6.37×10^{-6}	9.65×10^{-6}	log	lm	3-11-1
0.984	0.982	0.986	0.0015	0.0016	0.0011	tan	rp	3-17-1
0.998	0.998	0.998	6.02×10^{-4}	2.27×10^{-4}	1.3×10^{-4}	log	rp	3-16-1
0.996	0.996	0.994	1.96×10^{-4}	2.21×10^{-4}	3.62×10^{-4}	tan	scg	3-13-1
0.992	0.996	0.994	5.93×10^{-4}	3.77×10^{-4}	4.92×10^{-4}	log	scg	3-9-1



شکل (۵) نمودار مقایسه ی بین داده های آزمایشگاهی و پیش بینی شده برای بهترین آرایش شبکه عصبی.

Fig. 5. Comparison between experimental and predicted data for the best ANN model.

منابع

- air/electrohydrodynamic (EHD) drying kinetics of mushroom slices. *Energ. Convers. Manage.*, 86, 70-80.
- [15] Niamnuy, C., Kerdpi boon, S., Devahastin, S. (2012). Artificial neural network modeling of physicochemical changes of shrimp during boiling. *Food. Sci. Technol.*, 45(1), 110-116.
- [16] Azadbakht, M., Aghili, H., Ziaratban, A., Torshizi, M.V. (2016). Application of artificial neural network method to exergy and energy analyses of fluidized bed dryer for potato cubes. *Energy.*, 120, 947-958.
- [1] Rafiee, S. (1998). An investigation on paddy drying techniques. MS thesis, Department of Agricultural Machinery, University of Tehran, Karaj, Iran, (In Farsi)
- [2] Discala, J. K., Meschino, G., Vega-Galvez, A., Lemus-Mondaca, R., Roura, S., Mascheroni, R. (2003). An artificial neural network model for prediction of quality characteristics of apples during convective dehydration. *Food Sci. Technol.*, 33(3), 411-416.
- [3] Cao, C., Wang, X. B. (2002). Automatic control of grain driers. *Modernizing. Agri.*, 2, 40-44.
- [4] Dayhoff, J. E. (1990). *Neural Network Principles*. Prentice – Hall International, U.S.A.
- [5] Akin, D., Akba, B. (2010). A Neural Network (NN) Model to Predict Intersection Crashes Based upon Driver, Vehicle and Roadway Surface Characteristics. *Sci. Res. Essays.*, 5(19), 2837-2847.
- [6] Satish, S., Setty, Y. P. (2005). Modeling of a continuous fluidized bed dryer using artificial neural networks. *Int. Commun. Heat. Mass.*, 32(3-4), 539-547.
- [7] Cubillos, F., Reyes, A. (2003). Drying of carrots in a fluidized bed. II. Design of a model based on a modular neural network approach. *Dry. Technol.*, 21(7), 1185-1196.
- [8] Momenzadeh, L., Zomorodian, A., Mowla, D. (2011). Experimental and theoretical investigation of shelled corn drying in a microwave-assisted fluidized bed dryer using Artificial Neural Network. *Food. Bioprod. Process.*, 89(1), 15-21.
- [9] Cakmak, G., Yildiz, C. (2011). The prediction of seedy grape drying rate using a neural network method. *Comput. Electron. Agr.*, 75, 132-138.
- [۱۰] اصغری، م؛ ابراهیمی، ر؛ حسین زاده، ب؛ قنبریان، د. (۱۳۹۶) مدل‌سازی پارامترهای کیفی توت‌سفید در فرایند خشک شدن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. *مهندسی بیوسیستم / ایران*، جلد ۴۸، شماره ۱، ص ۹-۱۸.
- [۱۱] یوسفی، ع؛ قاسمیان، ن؛ سالاری، ا. (۱۳۹۶) مدل‌سازی سینتیک خشک‌کردن برش‌های لیموترش به‌روش تابش مادون قرمز با استفاده از شبکه عصبی هیبریدی. *فناوری‌های نوین غذایی*، جلد ۵، شماره ۱، ص ۹۱-۱۰۵.
- [12] Rad, S.J., Kaveh, M., Sharabiani, V.R., Taghinezhad, E. (2018). Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. *Heat. Mass. Transfer.*, 1-14.
- [13] Yadollahnia, A. R. (2006). A thin layer drying model for paddy dryer, Msc thesis, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Farsi)
- [14] Dinani, S.T., Hamdami, N., Shahedi, M., Havet, M. (2014). *Mathematical modeling of hot*

Research Article

Experimental Evaluation and Modeling of Paddy Rice Drying in Convective Dryer by Artificial Neural Network

Mohammad Ebrahim Mohammad Pour Mir¹, Sara Nanvakenari², Kamyar movagharnejad^{3*}

1. Master student, Faculty of Chemical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Iran.
2. Phd student, Faculty of Chemical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Iran.
3. Professor, Faculty of Chemical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Iran.

Abstract

Harvested rice has a high moisture content and it should be reduced to avoid corruption. In this study, the hot air drying was used to evaluate the kinetics of drying. This research was carried out under three variables including hot air velocity, hot air temperature, and final moisture content at 0.65, 0.8 m/s, 50, 65 °C, and 11, 13%, respectively. Modeling of rice drying was done by a multilayer perceptron artificial neural network. In order to evaluate the performance of training algorithms and transfer functions in predicting the drying behavior of paddy rice, three algorithms including Levenberg Marquardt, Resilient Bach Propagation and Scale Conjugate Gradient and two transfer functions including logsig and tansig were used. The results showed that the maximum drying time was approximately 8 hours at temperature of 50°C, hot air velocity of 0.65 m/s and final moisture content of 11% and the minimum drying time was 1.21 hours at temperature of 65°C, hot air velocity of 8 m/s and final moisture content of 13%. In general, the drying time decreased with increasing the temperature, hot air velocity and final moisture content. Also, the results of modeling showed that the levenberg Marquardt training algorithm had the best performance compared to the other algorithms. In general, the topology of 3-11-1 with levenberg Marquardt training algorithm and logsig transfer function had the lowest mean square error and the highest correlation coefficient.

Keywords: Paddy rice, Kinetic of drying, Hot air dryer, Multilayer perceptron neural network.

* Corresponding author: k-movaghar@nit.ac.ir