



تحلیل روند خشک شدن برگه‌های گلابی آسیایی در خشک‌کن مایکروویو با استفاده از شبکه

عصبی مصنوعی

محمد عباسیان^۱، محمدهادی خوش تقاضا^۲، غلامحسین نجفی^۳، پگاه نعمتی‌زاده^۴

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشیار، استادیار و دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مکانیک

ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

pegah644@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی خشک شدن برگه‌های گلابی آسیایی در خشک‌کن مایکروویو استفاده شد. خشک کردن برگه‌های گلابی آسیایی با ضخامت‌های ۲، ۴ و ۶ mm در خشک‌کن مایکروویو با توان‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ W و در سه تکرار انجام گردید. برای تحلیل داده‌ها با استفاده از شبکه‌ی عصبی، الگوریتم پس‌انتشار خطا با تابع آموزش Levenberg-Marquardt مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ۲ لایه‌ی خروجی که عبارتند از MR و DR و ۳ لایه‌ی ورودی انتخاب شد که شامل زمان، ضخامت و توان می‌باشد. با توجه به مقدار ضریب رگرسیون به دست آمده (۰/۹۹۷۰۱)، داده‌های آزمایشگاهی همبستگی بسیار خوبی با داده‌های نظری داشتند و در نتیجه شبکه عصبی طراحی شده با دقت قابل قبولی قادر بود پارامترهای MR و DR را پیش‌بینی نماید.

واژه‌های کلیدی: مایکروویو، گلابی آسیایی، خشک‌کردن، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

هدف اولیه‌ی خشک کردن مواد غذایی، حفظ و نگهداری محصول است. کم کردن میزان رطوبت، باعث جلوگیری و یا کاهش واکنش‌های آنزیمی و میکروبی 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 کاهش هزینه‌ی حمل و نقل و بسته‌بندی می‌باشد (فرجی هارمی، ۱۳۷۱).

برای کاهش آب میوه‌ها که دارای ترکیبات قندی هستند، زمانی طولانی و دمایی نسبتاً بالا مورد نیاز است که همین عوامل موجب بروز برخی تغییرات نامطلوب مانند تغییرات رنگ، طعم، عطر، کاهش مواد مغذی، افزایش وزن مخصوص و کاهش ظرفیت آبیگری مجدد محصول خشک‌شده می‌شوند.

از این رو، امروزه توجه پژوهشگران به سوی روش های دیگر خشک کردن مواد غذایی معطوف گردیده است برخی از این روش ها مانند خشک کردن تصعیدی به دلیل هزینه های بالای آن، فقط برای محصولات پر ارزش تر در صنایع داروسازی و بیوتکنولوژی کاربرد دارند و عملاً در مورد میوه ها کاربرد چندانی ندارند.

طی سال های اخیر با توسعه ی صنعت توجهی ویژه به روش هایی شده که در آن ها از اشعه ی مایکروویو استفاده می شود. پرتوهای مایکروویو، پرتوهای مغناطیسی با طول موج بلند و فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز می باشند که هنگام عبور از بافت میوه، موجب ارتعاش ملکول های قطبی موجود در بافت (آب و نمک ها) شده و در اثر این ارتعاش انرژی مایکروویو به حرارت تبدیل می گردد. بنابراین بر خلاف روش های دیگر، که گرما می بایست از سطح به عمق نفوذ نماید، در این روش گرما درون بافت میوه تولید می گردد و از آسیب دیدن و سوختگی های سطحی احتمالی جلوگیری می گردد (امام جمعه و عسگری، ۱۳۸۳).

خشک کردن مواد غذایی برای نگهداری بهتر آن ها در طول سال و ایجاد امکان دسترسی به آن ها در شرایط و فصلی که به صورت تازه وجود ندارند، از سال ها پیش مرسوم و متداول بوده است.

گلابی یکی از محصولات مهم باغی مناطق معتدله به ویژه غرب ایران است که در حال حاضر سطح قابل توجهی از باغات استان های این منطقه شامل کرمانشاه، همدان و کردستان را به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت درختان گلابی در منطقه ی غرب کشور حدود ۸۳۴ هکتار می باشد که حدود ۲۰٪ گلابی کشور را تولید می نمایند (بی نام، ۱۳۸۱).

با وجود این، صنعت میوه کاری ایران هنوز کشت و پرورش ارقام گلابی آسیایی (*Serotina Rehd Pyrus*) را تجربه نکرده است. گلابی آسیایی، یکی از گونه های قدیمی گلابی است که در دو دهه ی گذشته، علاقه مندی به پرورش ارقام اصلاح شده ی آن در جهان رو به تزاید گذاشته است (کاوه بی، ۱۳۸۷).

پیروس پیروفولیا^۱ گونه ای درخت گلابی بومی در چین، ژاپن و کره است. میوه های خوراکی این درخت به نام های مختلفی شناخته شده اند، از جمله: گلابی آسیایی، گلابی سفید چینی، گلابی ژاپنی، گلابی کره ای، گلابی تایوانی، گلابی شنی و سیب گلابی. در شمال آسیا این میوه با نام ناشی پاتی یا ناش پاتی شناخته شده است (Anonymous, 2010).

پیروس پیروفولیا در آسیای شرقی، استرالیا، هند، نیوزلند و کشورهای دیگر کشت می شود. بطور کلی این میوه برای مصارف پخت مثل شیرینی و کمپوت استفاده نمی شود، زیرا درصد رطوبت بالایی دارد و بافت ترد و دانه ای آن خیلی با گونه های روغنی اروپایی متفاوت است. پیروس پیروفولیا بر خلاف نام متداولش، سیب گلابی، حاصل پیوند سیب و گلابی نیست اما شکل و بافت تردش یادآور سیب است. این میوه گونه ای هیبرید خاص از گلابی است و اغلب به صورت خام و پوست کنده مصرف می شود. این میوه واقعاً درشت و معطر است و زمانی که به دقت پیچیده می شود، تا هفته ها در یک مکان سرد و خشک دوام می آورد. این میوه به علت آبداری به راحتی کوبیده و له می شود (Anonymous, 2010).

¹ *Pyrus Pyrifolia*

شبکه‌های عصبی را برای اولین بار ساتیش^۱ از هند در سال ۲۰۰۵ برای مدل‌سازی یک خشک‌کن بستر سیال باز مورد استفاده قرار داد (Satish and Pydi Setty, 2005).

فرآیند حرارتی، یکی از سیستم‌های پیچیده است که به‌طور معمول چندین پارامتر کیفی و شاخصه‌های کمی برای محصولات کشاورزی به‌طور همزمان در آن لحاظ می‌گردد. توسعه و تکمیل مدلی ریاضی که بتواند متغیرهای وابسته‌ی این مسأله را در ارتباط با تمامی متغیرهای مستقل پیش‌بینی نماید، کاری بس دشوار می‌باشد و برخی روش‌های پیش‌بینی شاخص‌های کیفی، سبتیک و مصرف انرژی که برای این منظور توسعه یافته‌اند، از دقت مناسبی برخوردار نیستند (Bonazzi et al., 1997).

روش متداول برای بررسی شرایط فرآوری پارامترهای کیفی محصولات کشاورزی، روش‌های آماری است. مدل‌های آماری یا معادلات رگرسیونی تابعی از فرضیات و ملاحظات ذاتی آزمایش‌ها در تحلیل است. در این روش، واقعیت پدیده به‌کمک یک معادله‌ی جبری بیان می‌شود که فرضیات اصلی مسأله در آن لحاظ شده است. از آنجا که برای پیش‌بینی شاخص‌های کیفی محصولات کشاورزی چندین متغیر ورودی و خروجی مؤثرند، تحلیل آماری این نوع مسائل مستلزم ارائه تعدادی روابط ریاضی است که اغلب برای استفاده و تفسیر مشکل است (Farkas et al., 2000).

شبکه‌های عصبی از عناصر عملیاتی ساده‌ای ساخته می‌شوند که به صورت موازی در کنار هم عمل می‌کنند. این عناصر از سیستم‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده‌اند. در طبیعت، عملکرد شبکه‌های عصبی از طریق نحوه اتصال بین اجزا تعیین می‌شود. بنابراین ما می‌توانیم یک ساختار مصنوعی به تبعیت از شبکه‌های طبیعی بسازیم و با تنظیم مقادیر هر اتصال، تحت عنوان وزن اتصال، نحوه ارتباط بین اجزای آن را تعیین نماییم. شبکه‌های عصبی نوعی مدل‌سازی ساده انگارانه از سیستم‌های عصبی واقعی هستند که کاربرد فراوانی در حل مسائل مختلف در علوم دارند. حوزه کاربرد این شبکه‌ها آن‌چنان گسترده است که از کاربردهای طبقه‌بندی گرفته تا کاربردهایی نظیر درون‌یابی، تخمین، آشکارسازی و ... را شامل می‌شوند. شاید مهم‌ترین مزیت این شبکه‌ها، توانایی وافر آن‌ها در کنار سهولت استفاده از آن‌ها باشد (کیا، ۱۳۸۹).

یک شبکه‌ی عصبی آموزش‌دیده می‌تواند به‌عنوان مدلی برای کاربردهای خاص به‌کار رود. پیش‌بینی با یک شبکه‌ی عصبی آموزش‌دیده به‌طور معمول سریع‌تر از عملکرد برنامه‌های مدل‌سازی متداول است. به‌علاوه، امکان کاهش یا افزایش متغیرهای ورودی و خروجی در صورت نیاز وجود دارد. تفاوت دیگر شبکه‌ی عصبی مصنوعی با روش‌های متداول مدل‌سازی این است که شبکه‌ی عصبی را می‌توان برای پیش‌بینی بیش از دو متغیر در خروجی شبکه استفاده کرد (Heristev, 1998).

شبکه عصبی مصنوعی توسط ساتیش و همکاران برای مدل‌سازی یک خشک‌کن بسترسیال مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه از شبکه‌های عصبی بدون پس‌خور با یاددهی گرادیان که ساده‌ترین روش یاددهی می‌باشد، استفاده شد (Satish and Pydi Setty, 2005).

در مقاله‌ای، فرآیند خشک‌کردن گوجه‌فرنگی در خشک‌کن قفسه‌ای را توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی با سه ورودی توان گرم‌کننده، سرعت جریان هوا و زمان خشک‌کردن و یک خروجی نسبت رطوبت گوجه‌فرنگی

¹ Satish

خشک‌شده، مدل‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که کم‌ترین خطا با در نظر گرفتن یک لایه پنهان و ۴ نورون حاصل می‌شود. مقایسه مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی با مدل‌های تجربی نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به مدل‌های تجربی، رفتار خشک‌شدن گوجه‌فرنگی را با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌کنند. همچنین این محققین بیان نمودند که شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر به توصیف ویژگی‌های خشک‌کردن در دامنه گسترده‌ای از شرایط مختلف آزمایش می‌باشند، در صورتی که مدل‌های تجربی فقط قادر به توصیف این ویژگی‌ها در شرایط محدود آزمایش هستند (امیریوسفی و محبی، ۱۳۸۷).

در پژوهشی دیگر، فرآیند خشک کردن انبه و کاساوا توسط شبکه عصبی مصنوعی با ۵ ورودی میزان چروکیدگی، دما، زمان، سرعت و رطوبت هوا و ۲ خروجی دما و رطوبت انبه و کاساوا خشک شده، مدل‌سازی گردید. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی به خوبی قادر به پیش‌گویی دما و رطوبت محصول خشک شده می‌باشد و کمترین خطا با در نظر گرفتن یک لایه پنهان و ۳ نورون حاصل می‌شود (امیریوسفی و محبی، ۱۳۸۷).

در پژوهشی دیگر، محبی و همکاران پس از آنالیز شیمیایی نمونه‌ها و تعیین میزان رطوبت آن‌ها، از مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی میزان رطوبت نمونه‌ها استفاده کردند. ضریب همبستگی بالای خروجی مدل شبکه عصبی و داده‌های آزمایشگاهی (۰/۸۶) نشان داد که این مدل کارآیی مناسبی برای پیش‌بینی میزان رطوبت دارد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی میزان رطوبت میگوی خشک شده را بر مبنای پارامترهای رنگی آن در فضای L^*a^*b با همبستگی بالا (۰/۸۶) میسر می‌سازد (محبی و همکاران، ۱۳۸۵).

در پژوهشی، موسویان و همکاران اقدام به کاربرد شبکه عصبی با پس‌خور دینامیکی به‌عنوان روشی برای مدل‌سازی خشک‌کن‌های غیرمداوم^۱ مورد استفاده قرار دادند (موسویان و همکاران، ۱۳۸۷).

مطالعه‌ی امیریوسفی و همکاران برای بهینه‌سازی شرایط خشک‌کردن اسمز با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی ANN^2 بار دیگر قدرت بالای مدل‌های این نرم‌افزار برای پیش‌بینی خروجی‌های سیستم را نشان داد (امیریوسفی و محبی، ۱۳۸۷).

امیری چایچیان و همکاران چهار متغیر وابسته‌ی آهنگ خروج محصول، آهنگ تغییر، میزان مصرف انرژی و ضریب تبدیل شلتوک به برنج سفید در خشک‌کن بسته ثابت را به کمک شبکه‌ی عصبی مصنوعی برآورد کردند. نتایج بررسی‌های ایشان نشان داد که بهترین نتایج برای شبکه پس‌انتشار پیش‌رو با توپولوژی ۴-۹-۱۲-۷ و الگوریتم آموزش Levenberg-Marquardt و تابع آستانه‌ی لگاریتم سیگموئید حاصل می‌گردد (امیری چایچیان و همکاران، ۱۳۸۷).

محققین بسیار دیگری نیز از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای دستیابی به اهداف موردنظر در زمینه‌های کشاورزی استفاده کرده‌اند که برخی از آن‌ها عبارتند از فارکاس و همکاران برای پیش‌بینی توزیع رطوبت در یک خشک‌کن جو و یافتن بهترین شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی آن (Farkas et al., 2000)، زبیسینسکی و همکاران برای مدل‌سازی فرآیند تبخیر رطوبت در یک خشک‌کن بستر سیال (Zbicinski et al., 1996)، زبیسینسکی و سبیلسکی برای پیش‌بینی ضریب انتقال حرارت مواد مختلف (Zbicinski and Ciesielski,)

¹ Batch

² Artificial Neural Network

2000). اسلام و همکاران برای پیش‌بینی نرخ خشک‌کردن قطعات سیب‌زمینی (Islam et al., 2003). ارنتورک و همکاران برای مدل‌سازی دینامیکی خشک‌کردن لایه‌ی نازک گیاه اگناسه آنگوستینولیا¹ (Erenturk et al., 2004)، ارنتورک و ارنتورک در فرآیند خشک‌کردن لایه‌ی نازک هویج (Erenturk and Erenturk, 2007).

با توجه به تحقیقات انجام شده، تا کنون در مورد تحلیل روند خشک کردن برگه‌های گلابی با استفاده از شبکه‌ی عصبی، کاری در ایران و سایر نقاط جهان صورت نگرفته است. از این‌رو در این مقاله خشک کردن برگه این محصول در خشک‌کن مایکروویو با استفاده از شبکه‌ی عصبی مورد بررسی قرار گرفته است. هدف این تحقیق بررسی منحنی سینتیک خشک شدن برگه‌های گلابی آسیایی در خشک‌کن مایکروویو با استفاده از شبکه‌ی عصبی می باشد.

مواد و روش‌ها

۱- مواد

از نمونه برگه‌های نازک با ضخامت ۲، ۴ و ۶ mm با استفاده از یک چاقوی بسیار نازک با ابعاد ۲۵×۵۰ mm جدا گردید. سپس وزن نمونه با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ g اندازه گیری شد. برای خشک کردن ورقه‌های بریده شده از خشک‌کن ماکروویو SAMSUNG مدل M945 با قدرت ۱۰۰۰ W استفاده شد.

۲- روش آزمایش

سه عدد از نمونه‌ی بریده شده با ضخامت یکسان بر روی یک صفحه مشبک قرار گرفت. سپس صفحه مشبک در داخل سیستم خشک‌کن قرار داده شد. نمونه‌ها در ابتدا هر ۳ دقیقه از داخل خشک‌کن بیرون آورده می‌شد تا وزن آن ثبت گردد و این زمان کم کم کوتاه می‌شد. آزمایشات برای سطوح مختلف توان مایکروویو، ۲۰۰ و ۳۰۰ W برای سه ضخامت ۲، ۴ و ۶ mm و در سه تکرار انجام گرفت. داده‌های آزمایش توسط نرم‌افزار MATLAB مورد تجزیه و تحلیل با شبکه عصبی قرار گرفت.

نسبت رطوبت (MR) معمولاً به صورت زیر تعریف می‌شود (Diammante and Munro, 1991; Yaldiz and Ertekin, 2001):

$$MR = (M - M_e) / (M_0 - M_e) \quad (1)$$

نرخ خشک شدن (DR) در طی آزمایش خشک شدن از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$DR = (M_{t+\Delta t} - M_t) / \Delta t \quad (2)$$

برای تحلیل نتایج با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابتدا شبکه‌های مختلف با تعداد لایه‌های متفاوت که بیانگر حجم شبکه می‌باشند. برای مدل کردن، داده‌های ورودی مورد استفاده قرار گرفتند. تعداد تکرار در مرحله‌ی آموزش هر شبکه، معرف سرعت همگرایی شبکه می‌باشد. بنابراین می‌توان از آن به عنوان یک پارامتر بهینه‌سازی

¹ گونه‌ای گیاه دارویی

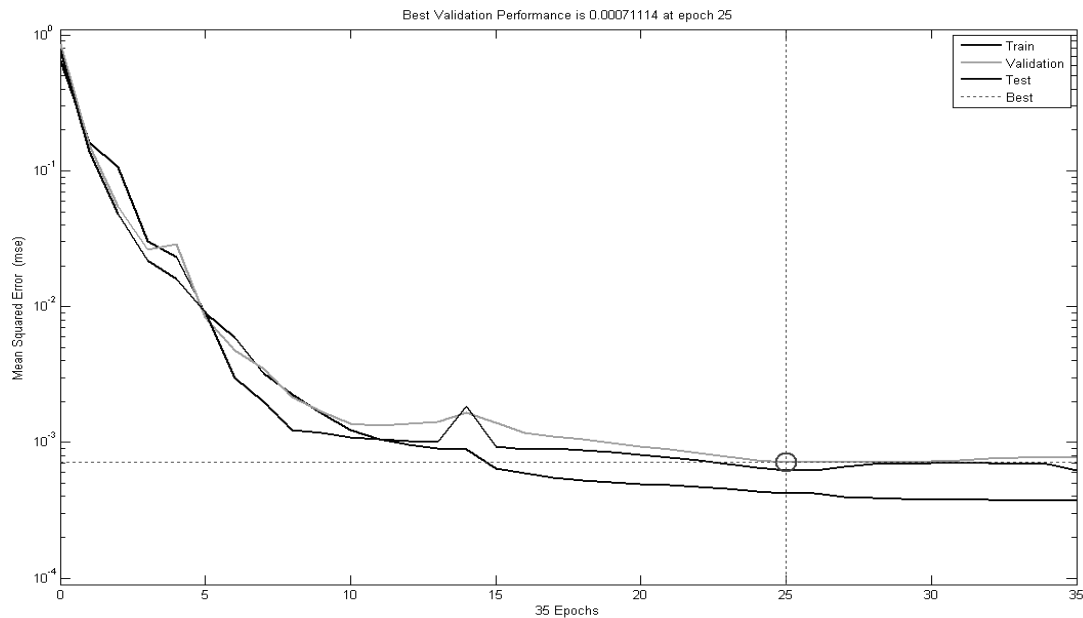
مدل نام برد. همچنین عامل خطای آموزش به عنوان سومین معیار عملکرد شبکه در نظر گرفته شد. بر همین اساس شبکه‌های با دو لایه (یک لایه میانی و یک لایه خارجی) برای انجام پیش‌بینی طراحی شد. الگوریتم پس انتشار خطا^۱ با تابع آموزش Levenberg-Marquardt مورد استفاده قرار گرفت. داده‌ها نیز به سه گروه آموزشی، معتبرسازی و آزمایشی تقسیم‌بندی شدند. معیار خطای شبکه، میانگین مربع خطا^۲ می‌باشد. همچنین تعداد نرون‌های خروجی ۲ عدد انتخاب شد که عبارتند از MR و DR و تعداد لایه‌های ورودی ۳ عدد انتخاب شد که شامل زمان، ضخامت، توان می‌شد.

نتایج و بحث

ساختار بهینه شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی فرآیند خشک کردن برکه میوه با میکروویو طی آزمون و خطا به دست آمد.

۱- نمودارهای عملکرد شبکه

نمودار (۱) بیانگر عملکرد شبکه‌ی طراحی شده برای MR و DR می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خطای آموزش به ازای مقدار ۳۵ تکرار شبکه، به میزان قابل قبولی کاهش یافته‌اند. در این شبکه مقدار میانگین مربع خطا $0/00071114$ بود و با توجه به اینکه به عدد صفر نزدیک می‌باشد، با اطمینان می‌توان به مدل‌سازی داده‌ها پرداخت.

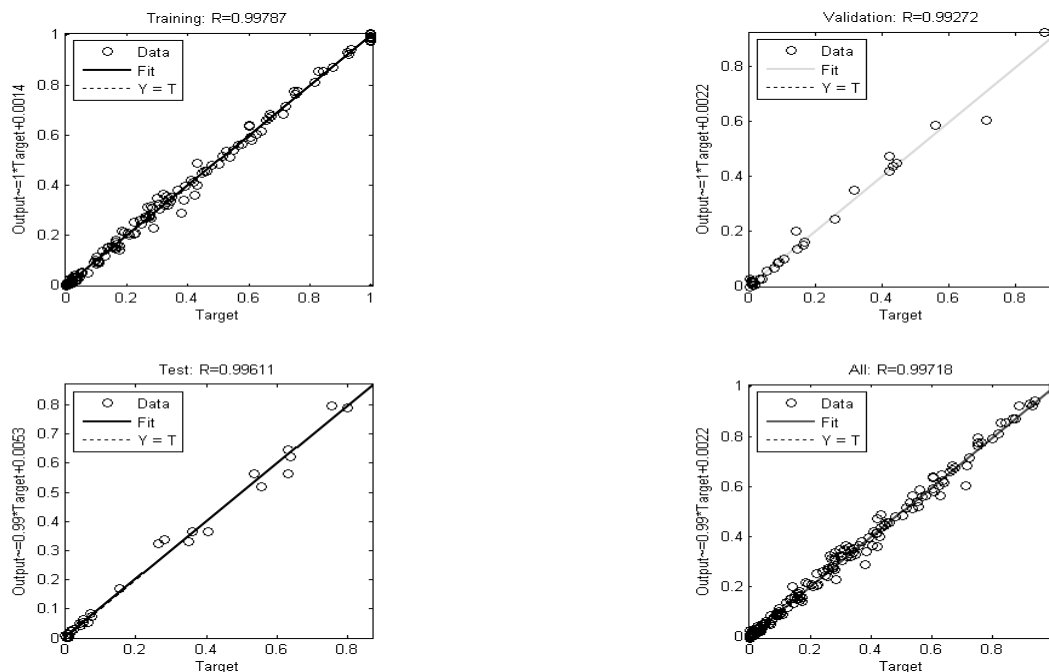


نمودار ۱- منحنی عملکرد شبکه در حین آموزش برای مقادیر MR و DR

^۱ Feed Forward Back Propagation

^۲ Mean Square Error (MSE)

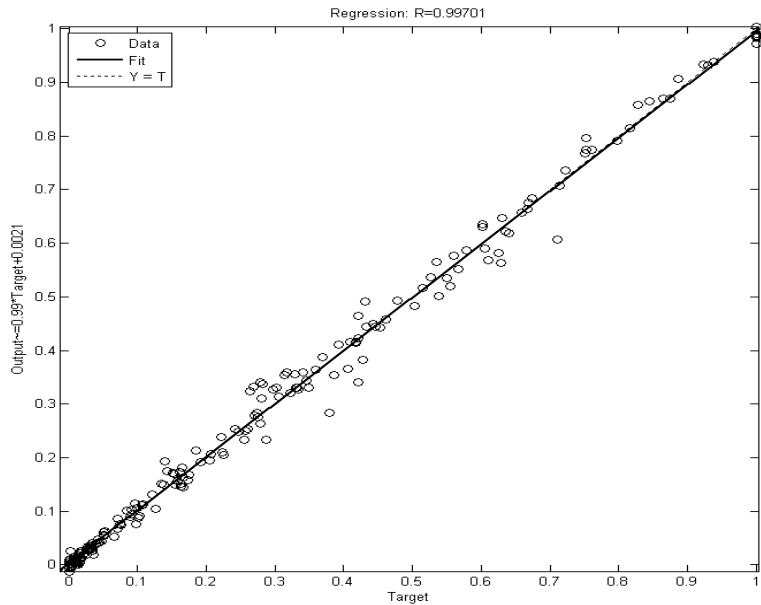
نمودار (۲) منحنی‌های رگرسیونی آموزشی، معتبرسازی و آزمایش شبکه و بین خروجی‌های واقعی و پاسخ شبکه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد میزان ضریب رگرسیون برای منحنی‌های چهارگانه، داده‌ها با خروجی‌های شبکه‌ی طراحی شده همبستگی زیادی داشتند.



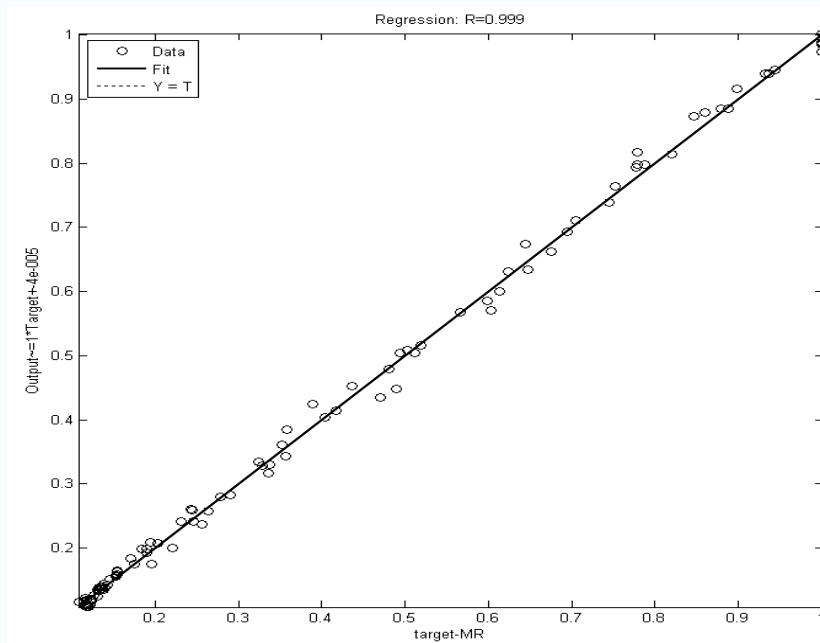
نمودار ۲- منحنی‌های رگرسیونی آموزشی، معتبرسازی و آزمایش شبکه و بین خروجی‌های واقعی و پاسخ شبکه

۲- نمودارهای مقایسه‌ی نتیجه‌های آزمایشگاهی و نظری

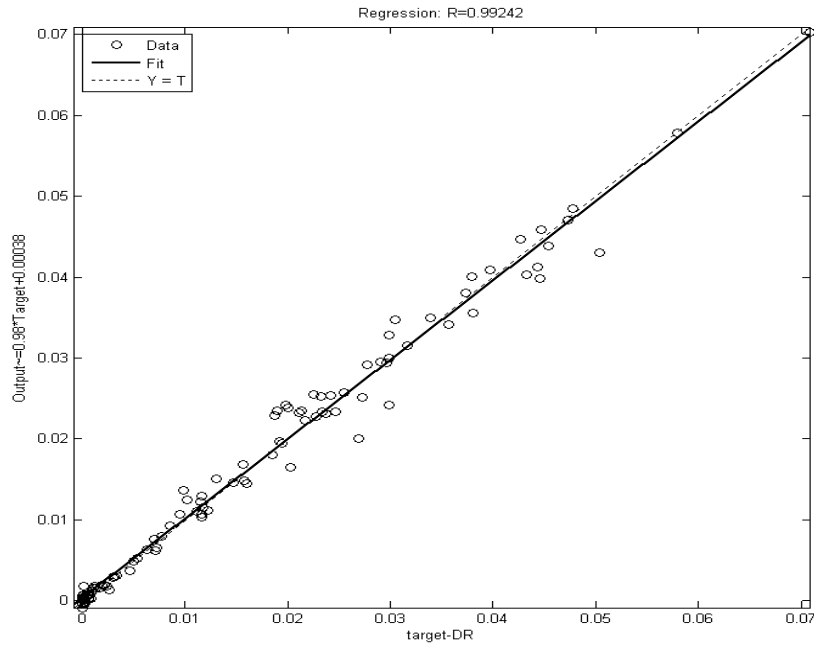
جهت نشان دادن تطابق داده‌های حاصل از مدل‌سازی با داده‌های آزمایشگاهی، این داده‌ها بر روی نمودارهایی رسم شد که در نمودارهای (۹) تا (۱۳) نشان داده شده‌اند. با توجه به ضرایب رگرسیون حاصله برای هر یک از نمودارهای (۹) تا (۱۱) می‌توان نتیجه گرفت که شبکه عصبی مصنوعی توانایی بالایی در مدل‌سازی تأثیر پارامترهای عملیاتی بر سینتیک خشک‌کردن دارد.



نمودار ۹- منحنی رگرسیونی داده‌های آزمایشگاهی

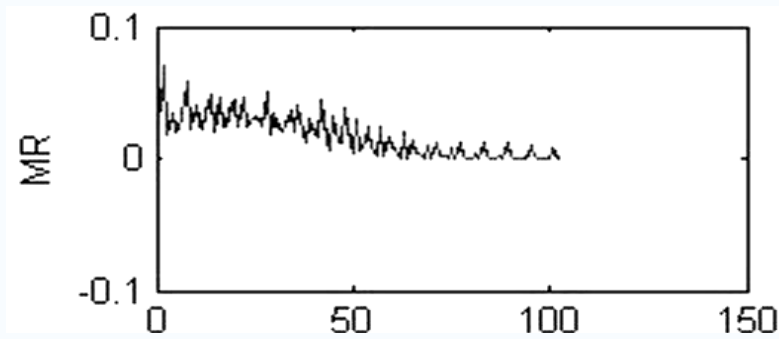


نمودار ۱۰- منحنی رگرسیونی MR آزمایشی

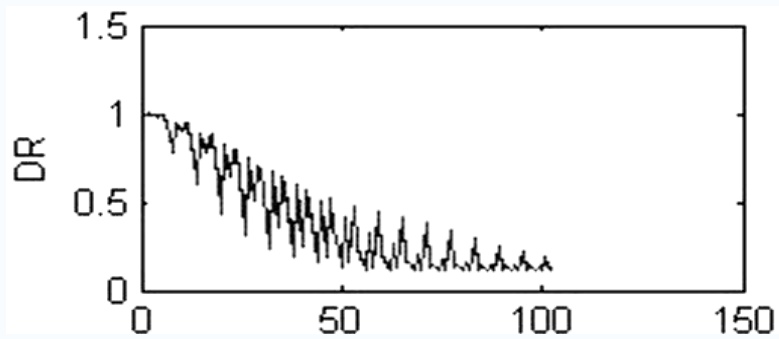


نمودار ۱۱- منحنی رگرسیونی DR آزمایشی

نتایج مقایسه داده‌های حاصل از شبکه و داده‌های آزمایشی به ترتیب با رنگ‌های آبی و قرمز در نمودارهای (۱۲) و (۱۳) نمایش داده شده است. همان‌طور که در این نمودارها ملاحظه می‌گردد، داده‌های نظری برای MR و DR تطابق بسیار خوبی با داده‌های آزمایشی آن‌ها دارند.



نمودار ۱۲- منحنی MR آزمایشی و نظری



نمودار ۱۳- منحنی DR آزمایشی و نظری

نتیجه گیری

با توجه به منحنی‌های به دست آمده از شبکه عصبی، نتایج زیر حاصل شد:

۱- با توجه به اینکه در این شبکه مقدار میانگین مربع خطا 0.00071114 بود و این عدد با تقریب خوبی به صفر نزدیک می‌باشد، لذا با اطمینان می‌توان تابع **Levenberg-Marquardt** را به عنوان تابعی مناسب جهت مدل‌سازی فرآیند خشک کردن برگه‌ای گلابی آسیایی به کمک شبکه عصبی در نظر گرفت.

۲- با توجه به مقدار 0.99701 برای ضریب رگرسیون، داده‌های آزمایشگاهی همبستگی بسیار خوبی با داده‌های نظری دارند. به علاوه این ضریب رگرسیون برای داده‌های آزمایشگاهی به صورت جداگانه یعنی **MR** و **DR** نیز خیلی به ۱ نزدیک بود.

۳- شبکه عصبی طراحی شده با دقت قابل قبولی قادر است پارامترهای **MR** و **DR** را پیش‌بینی نماید.

فهرست اختصارات

Th (mm)	ضخامت	T (min)	زمان
MR	نسبت رطوبت ^۱	P (W)	توان
		DR	نرخ خشک شدن ^۲

فهرست منابع

۱. امام‌جمعه، ز و عسگری، غ (۱۳۸۳). بکارگیری روش خشک کردن ترکیبی (پوشش دادن، خشک‌کن هوا و مایکروویو) در خشک کردن برگه‌های نازک سیب. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۵. شماره ۳.
۲. امیری چایچیان، ر.، خوش تقاضا، م.، امیری پریان، ج. (۱۳۸۷). برآورد متغیرها و بررسی اهمیت عوامل مؤثر در فرایند خشک شدن بستر ثابت شلتوک به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی. جلد ۱۹. شماره ۱.
۳. امیریوسفی، م.، محبی، م. (۱۳۸۷). مدل‌سازی انتقال جرم طی فرآیند خشک کردن اسمزی سیب‌زمینی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. هجدهمین کنگره‌ی علوم و صنایع غذایی. مشهد مقدس. ۱۳۸۷.
۴. بی‌نام (۱۳۸۱). آمارنامه کشاورزی. جلد اول - محصولات زراعی و باغی - سال زراعی ۱۳۷۹ - ۱۳۸۰. ۸۱.۰۶ / ۰۶.
۵. فرجی هارمی، ر (۱۳۷۱). اصول نگهداری مواد غذایی. چاپ اول. انتشارات دانشگاه شیراز. ۲۸۰ص.

¹ Moisture Ratio (MR)

² Drying Rate (DR)

۶. کاوه‌بی، ز (۱۳۸۷). میوه‌های خشک شده مغدی‌ترند یا میوه‌های تازه؟. سلامت، ۱۹۵: ۱۴.
۷. کیا، م (۱۳۸۹). محاسبات نرم در MATLAB. چاپ اول. انتشارات کیان رایان سبز. ص ۱۴۱-۱۴۰
۸. محبی، م، اکبرزاده توتونچی، م، شهیدی، ف، پورشهابی، م. (۱۳۸۵). بررسی امکان کاربرد ماشین بینایی و شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی میزان رطوبت میگوی خشک شده. چهارمین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران.
۹. موسویان، م، میرسپاهی، ع، محمدظاهری، م (۱۳۸۷). مدل‌سازی خشک‌کن بستر سیال Batch با شبکه‌های عصبی با پسخور. موجود در سایت: www.IrChe.com.
10. **Anonymous** (2010). Asian Pear. Available on http://en.wikipedia.org/wiki/Nashi_pear.
11. **Bonazzi, C., Du Peuty, M.A., and Themelin, A.** (1997). Influence of drying conditions on the processing quality of rough rice. *Drying Technology* 3&4 (15): 1141-1157.
12. **Diamante, L. M. and Munro, P. A.** (1991). Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices. *International Journal of Food Science and Technology*, **26**: 99.
13. **Erenturk, K., Erenturk, S. and Tabil, L.G.** (2004). A comparative study for the estimation of dynamical drying behavior of Echinacea Angustifolia: regression analysis and neural network. *Computer and Electronics in Agriculture* 45: 71-90
14. **Erenturk, S. and Erenturk, K.** (2007). Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *Journal of Food Engineering* 78: 905-912.
15. **Farkas, I., Remenyi, P. and Biro, A.** (2000). Modeling aspects of grain drying with a neural network. *Computer and Electronics in Agriculture* 29: 99-113.
16. **Heristev, R.M.** (1998). The ANN Book. GNU Public License. USA. Islam MR, Sablani SS and Mujumdar AS, 2003. An artificial neural network model for prediction of drying rates. *Drying Technology* 21(9): 1867-1884
17. **Islam, M.R., Sablani, S.S. and Mujumdar, A.S.** (2003). An artificial neural network model for prediction of drying rates. *Drying Technology* 21(9): 1867-1884
18. **Satish, s. and Pydi Setty, Y.** (2005). Modeling of a continuous fluidized bed dryer using artificial neural networks. *Heat and Mass Transf.* **32**: 539- 547.
19. **Yaldiz, O. and Ertekin, C.** (2001). Thin layer solar drying of some different vegetables. *Drying Technology*. **19**: 583-596.
20. **Zbicinski, I. and Ciesielski, K.** (2000). Extension of the neural networks operating range by the application of dimensionless numbers in prediction of heat transfer coefficients. *Drying Technology* 18(3): 649-660.
21. **Zbicinski, I., Strumillo, P. and Kaminski, W.** (1996). Hybrid neural model of thermal drying in a fluidized bed. *Computers Chemical Engineering* 20: 695-700.

Abstract

In this study an artificial neural network (ANN) was used to simulate thin layer drying kinetics of pear slices using microwave. Pear slices were dried with three replications at three different thicknesses and microwave power levels being 2, 4 and 6 mm and 200, 300 and 400W, respectively. An artificial neural network (ANN) using Feed Forward Back Propagation trained by Levenberg-Marquardt was developed. Two input layers including Moisture Ratio (MR) and Drying Rate (DR) and three hidden layers including time, thickness and microwave power were selected. The correlation coefficient between the measured and predicted data (0.99701) showed that the developed ANN method could predict MR and DR with a high accuracy.

Keywords: Microwave; Asian pear; Drying; Artificial Neural Network