



پیش‌بینی محتوای رطوبتی خشک‌شدن لایه نازک قارچ خوراکی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی

پس انتشار

ابراهیم فیاضی^۱، محمد کاظمی^۱، محمد هادی خوش تقاضا^۲ و حامد امیرنجات^۳

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجویان کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی و دانش آموخته

کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

mohammad.kazemi@yahoo.com

چکیده

قارچ خوراکی دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) به عنوان منبع غذای پر پروتئین و کم کالری و همچنین مصارف دارویی، امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با افزایش بیش از پیش تولید قارچ خوراکی نیاز به انبارداری، افزایش ماندگاری، کاهش ضایعات و استفاده از پودر قارچ بیشتر احساس می‌شود. به همین جهت خشک کردن این محصول به عنوان یکی از راهکارهای عملی همواره مطرح می‌باشد. امروزه با توجه به مزایای فناوری هوش مصنوعی استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در سطح وسیعی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مورد نیاز در فرایندهای خشک کردن در حال رشد و توسعه است. هدف از انجام این تحقیق پیش‌بینی محتوای رطوبتی قارچ خوراکی دکمه‌ای به کمک شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار می‌باشد. در این تحقیق قارچ خوراکی دکمه‌ای به صورت لایه نازک با استفاده از خشک‌کن جریان عمودی هوای داغ در سه سطح دما 40°C ، 50°C و 60°C و سه سطح سرعت جریان باد 0.5 m/s ، 0.7 و 1 خشک شده تا محتوای رطوبتی آن ثابت و به 1% (بر پایه خشک) برسد. شبکه‌های عصبی پیشرو برای تخمین میزان رطوبت قارچ با الگوریتم‌های یادگیری لونیبرگ - مارکوارت (*trainlm*) برای آموزش الگوها بکار گرفته شد. مقایسه ضریب تعیین R^2 و MSE نشان داد که شبکه عصبی با ساختار ۱-۱۸-۲۰-۳ با تابع آستانه سیگموئید و لگاریتمی در مقایسه با توپولوژی‌های دیگر نتایج بهتری را ارائه می‌کند، که مقدار ضریب تعیین ۱ و MSE آن 0.0001 می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: قارچ خوراکی دکمه‌ای، خشک کردن، محتوای رطوبتی، شبکه عصبی مصنوعی

امروزه قارچ خوراکی دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) به عنوان منبع غذای پر پروتئین و کم کالری و همچنین مصارف دارویی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در طی سال‌های پیش تولید قارچ خوراکی رشد قابل توجهی در سطح جهان داشته است، برای مثال تولید این محصول از ۴۰۰۰ تن در سال ۱۹۸۶-۱۹۸۵ به چیزی بالغ بر ۳۰۰۰۰ تن در سال ۱۹۹۷-۱۹۹۶ رسیده است. قارچ خوراکی دکمه‌ای با تولید بیش از ۳۷ درصد قارچ‌های خوراکی، بیشترین سهم تولید را به خود اختصاص می‌دهد (Walde, 2006). در دمای ۲۵-۲۱ درجه سلسیوس کیفیت قارچ‌های تازه معمولاً حدود ۱۲ ساعت پس از برداشت در حد قابل قبولی باقی می‌ماند. میزان رطوبت قارچ خوراکی نقش تعیین کننده‌ای در فساد آن دارد که ناشی از فعالیت فیزیکی-شیمیایی، بیوشیمیایی (آنزیمی-غیرآنزیمی) و همچنین فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. به دلیل فسادپذیری سریع قارچ خوراکی، انجام اقداماتی به منظور افزایش زمان نگهداری آن بسیار اهمیت دارد. با توجه به نقش عمده آب در فسادپذیری قارچ خوراکی که بیش از ۹۰ درصد (w.b.) از این محصول را تشکیل می‌دهد، خشک کردن یکی از روش‌های نگهداری قارچ خوراکی است که باعث افزایش زمان نگهداری آن از چند روز به چند ماه و تا یک سال و سهولت حمل و نقل و نگهداری آن می‌شود. (حاجی زاده، ۱۳۷۶)

بطور کلی خشک کردن محصولات کشاورزی عبارت است از خارج کردن رطوبت از محصول. هدف‌های زیادی در ارتباط با رطوبت‌گیری از محصولات غذایی وجود دارد، که عمده‌ترین آنها عبارت از این است که بتوان محصول را برای مدت زیادی ذخیره نمود. این هدف با کم کردن درصد رطوبت محصول تا حد قابل قبول برای محدود کردن رشد میکروب‌ها یا انجام دیگر واکنش‌ها انجام می‌شود. علاوه بر آن، کاهش درصد رطوبت باعث حفظ خصوصیات کیفی محصول از قبیل طعم و ارزش غذایی می‌گردد. یک هدف دیگر از رطوبت‌گیری این است که حجم قابل ملاحظه‌ای از محصول کاسته شود و این کار راندمان حمل و نقل و ذخیره‌سازی محصولات را بالا می‌برد. یک هدف دیگر که تا حد کمتر آشکار می‌باشد این است که بتوان محصولی مناسب برای مصرف تولید نمود، برای مثال حرارت دیدن قارچ خوراکی در طی خشک شدن آن باعث افزایش درصد پروتئین قابل هضم آن در برابر مقدار کل پروتئین محصول می‌شود. (حاجی زاده، ۱۳۷۶)

خشک کردن به روش جریان هوای گرم در سطح تجاری به طور گسترده برای انواع سبزیجات و از جمله قارچ خوراکی استفاده می‌شود.

تحقیقات زیادی جهت مدل کردن پروسه خشک کردن انجام شده است که از جمله می‌توان به مدل‌های ریاضی، روش‌های عددی، شبیه‌سازی‌های کامپیوتری (المان محدود، روش اجزا محدود و شبکه عصبی مصنوعی) اشاره کرد؛ همه این متدها اطلاعات مفیدی را در خصوص انتقال حرارت و جرم و یا مدل‌سازی خشک شدن مهیا می‌کنند و می‌توانند تا در حدودی در طراحی، ساخت و بهینه‌سازی خشک‌کن‌ها موثر باشند.

کاراتانوس^۱ و بلژتیس^۲ (۱۹۹۹) در تحقیقی معادله لایه‌نازک برای استخراج داده‌های مربوط به خشک شدن میوه‌های تازه و نیمه‌خشک را مورد بررسی قرار داده‌اند. مدل لایه‌نازک همچون معادله پیچ^۳ برای استخراج داده‌های

^۱Karathanos

^۲Belessiotis

مربوط به خشک‌شدن محصولات کشاورزی با محتوای قند بالا مشابه انگور، کشمش بی‌دانه، انجیر و آلو مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل در صورت کاهش رطوبت به زیر ۱۵ درصد توانایی پیش‌بینی فرآیند خشک‌شدن محصول را نداشته است. (Karathanos, ۱۹۹۹)

گازر و همکاران (۱۳۸۲) تاثیر تغییرات دما، سرعت جابجایی هوا و ضخامت لایه محصول در فرآیند خشک‌کردن پسته کله قوچی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که تغییرات دما، سرعت جابجایی هوا و ضخامت محصول اثر معنی‌داری بر روی دو شاخص زمان و آهنگ خشک‌شدن پسته دارند. وانگ و همکاران در سال ۲۰۰۷ مدل‌سازی ریاضی خشک‌کردن لایه نازک سیب را مورد بررسی قرار دادند. فرآیند خشک‌شدن با جابجایی هوا در یک خشک‌کن آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج نشان داد که مدل لگاریتمی بهتر از سایر مدل‌ها فرآیند خشک‌شدن را پیش‌بینی می‌کند. امروزه یکی از روش‌های هوش مصنوعی که در سطح وسیعی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مورد نیاز در فرآیندهای خشک‌کردن از یک دهه گذشته آغاز شده و در حال بسط و توسعه است، شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد که در این تحقیق از آن برای مدل‌سازی فرآیند استفاده می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ آماده‌سازی نمونه‌ها و تعیین رطوبت نسبی

به منظور اندازه‌گیری رطوبت قارچ از استاندارد AOAC (۱۹۸۰) استفاده شد. به این ترتیب که برای بدست آوردن درصد واقعی رطوبت محصول، ابتدا به طور تصادفی، ۵ نمونه ۵ گرمی از توده‌ی محصول مورد استفاده جدا شد و درون اجاق قرار داده شد. طبق استاندارد گفته شده باید برای تعیین رطوبت قارچ، نمونه‌ها را به مدت ۳ تا ۴ ساعت در اجاق با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داد. برای انجام این کار ابتدا ظروف کوچکی به مدت ۲۰ دقیقه در داخل اجاق در دمای مربوطه گذاشته شد و سپس ظروف توزین شد و پس از صفر کردن ترازو نمونه‌های ۵ گرمی قارچ درون ظروف ریخته شده و در داخل اجاق قرار داده شد. پس از اتمام زمان خشک‌شدن، نمونه‌ها از اجاق بیرون آورده شد و بلافاصله وزن آن اندازه‌گیری شد. محتوای رطوبتی بر پایه خشک از رابطه زیر به دست آمد:

$$Mc_{db} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \quad (1)$$

که در آن:

Mc_{db} ، میزان رطوبت بر پایه خشک (اعشار)

m_1 و m_2 ؛ به ترتیب جرم اولیه محصول (kg) و جرم نهایی محصول پس از خشک‌کردن (kg)

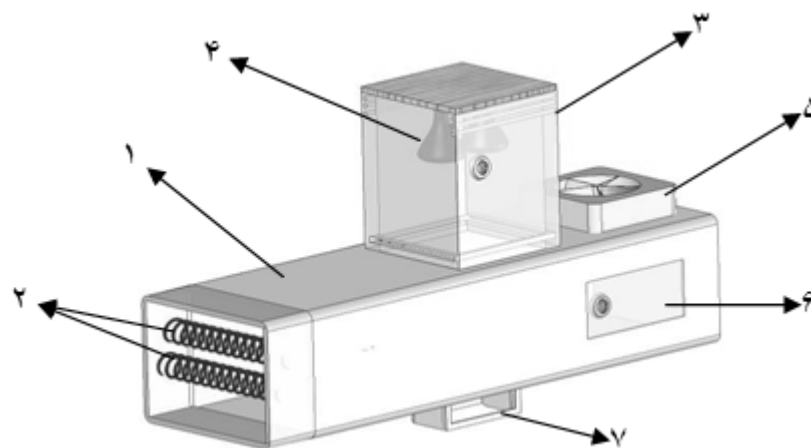
ترازوی مورد استفاده برای توزین نمونه‌ها A&D مدل GF-6000 ساخت کشور ژاپن با حساسیتی برابر ۰/۰۱ گرم بود. اجاق مورد استفاده Memmert، ساخت کشور آلمان با دقت $\pm 1^\circ\text{C}$ بود. رطوبت اولیه قارچ‌ها ۱۳/۲۹ بر پایه خشک به دست آمد.

۲-۲ خشک کردن

برای انجام آزمایش‌ها، خشک‌کن آزمایشگاهی مادون قرمز ساخته شده‌ی مهاجران (۱۳۸۳) بهینه‌سازی شد. این خشک‌کن آزمایشگاهی قابلیت خشک‌کردن به سه روش جریان هوای گرم، تابش مادون قرمز و روش ترکیبی تابش مادون قرمز- جریان هوای گرم را دارد (شکل ۱). این خشک‌کن قابلیت این را دارد که دمای محیط را تا دمای ۸۰ درجه سلسیوس، با دقت $\pm 2^\circ\text{C}$ تنظیم کند. سرعت هوای عبوری از کانال خشک‌کن تا ۱/۵ متر بر ثانیه قابل تنظیم است.

نمای شماتیک کلی و اجزاء دستگاه خشک‌کن در شکل (۱) دیده می‌شود.

برای اندازه‌گیری وزن نمونه‌های مورد آزمایش در حین انجام آزمایش بدون خارج کردن آن‌ها از محفظه خشک‌کن پایه‌های سینی نمونه در طول آزمایش بر روی ترازوی دیجیتالی که در زیر محفظه خشک‌کن مستقر شده بود، قرار داشت. ترازوی استفاده شده، این توانایی را دارد که نمونه‌های تا ۳۰۰۰ گرم را با دقت ۰/۱ گرم وزن نماید. در ضمن این ترازو با استفاده از کابل رابط RS 232C به یک کامپیوتر وصل گردید و با استفاده از برنامه‌ی نرم‌افزار مربوط به ترازو، داده‌های اندازه‌گیری شده به وسیله ترازو را که به‌طور پیوسته، در هر ۱ دقیقه وزن نمونه قرائت و ثبت می‌گردید در حافظه‌ی خود ذخیره می‌نمود.



شکل ۱- شماتیک خشک‌کن آزمایشگاهی مادون قرمز. ۱. کانال، ۲. گرمکن‌ها، ۳. محفظه مادون قرمز، ۴. لامپ‌های مادون قرمز، ۵. فن مکند، ۶. دریچه تنظیم سرعت هوا، ۷. ترازو

در این تحقیق آزمایش‌های خشک‌کردن در سه سطح دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس، سه سطح سرعت هوای ۰/۵، ۰/۷ و ۱ متر بر ثانیه و روش خشک کردن جریان هوای گرم، و در سه تکرار انجام شد.

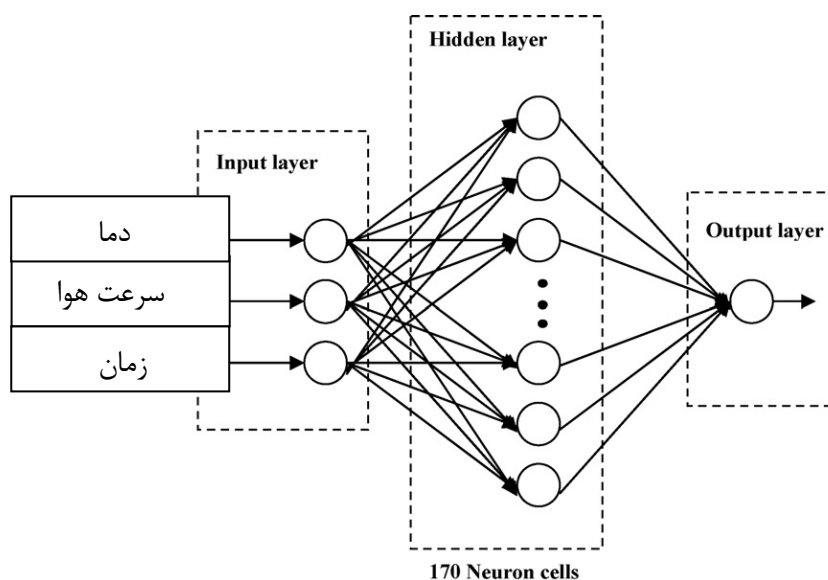
۲-۳ مدل‌سازی شبکه عصبی

هر شبکه عصبی از سه لایه ورودی، میانی یا مخفی و خروجی تشکیل شده است. در لایه اول یا ورودی، به تعداد عوامل اولیه و در لایه خروجی به تعداد عوامل نهایی موردنظر، نرون بستگی دارد. لایه مخفی می‌تواند از یک یا چندین لایه تشکیل شود که تعداد نرون‌های هر لایه آن متغیر است و عموماً به روش سعی و خطا تعیین می‌شود. سه عامل دما، سرعت هوا، و زمان خشک شدن بصورت سه نرون در لایه ورودی و مقدار محتوای رطوبتی به عنوان تنها نرون در لایه خروجی مدل‌سازی شد (شکل ۲).

جدول (۱) ماتریس آزمایش و سطوح مختلف تیماری‌های این آزمایش را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در مدل‌سازی شبکه عصبی تعیین ماتریس ورودی و خروجی بسیار مهم است، بعد از خوانش داده‌های خشک شدن برای هر تیمار میانگین‌گیری شده و ماتریس‌های ورودی و خروجی بر اساس جدول (۱) و شکل (۲) در نرم‌افزار Excel ایجاد می‌شوند. با توجه به اینکه خشک شدن یک فرایند بسیار زمان‌بر است فقط زمانی‌هایی که تغییر قابل توجه‌ای در محتوای رطوبتی صورت گرفته مد نظر قرار می‌گیرد، بر همین اساس تعداد کل الگوهای ایجاد شده برای شبکه ۲۰۹۱ عدد می‌باشد که اندازه ماتریس ورودی و خروجی به ترتیب 3×2091 و 1×2091 می‌باشد.

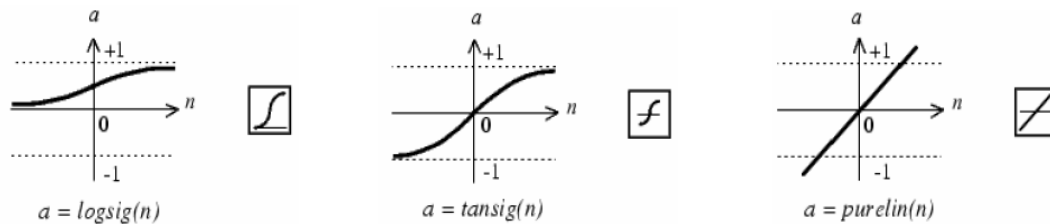
جدول ۱: محدوده و سطوح در نظر گرفته شده برای متغیرهای مستقل

پارامتر سطوح	دمای ($^{\circ}\text{C}$)	سرعت (m/s)	زمان (min)
کمینه	۴۰	۰/۵	۰
پیشینه	۶۰	۱	T_{Max} (۳۷۹)
تعداد سطوح	۳	۳	۳۸۱-۱۶۶



شکل ۲- معماری شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش از شبکه‌های چند لایه پرسپترون⁴ MLP که در آن تمامی نرون‌ها به یکدیگر وصل شده‌اند استفاده شد. این مدل، به علت سادگی و در عین حال دقت بالا، کاربرد زیادی در شبیه‌سازی خشک شدن دارد. از توابع آستانه مختلفی چون سیگموئیدی (logsig)، لگاریتمی (tansig) و خطی (purelin) و الگوریتم‌های آموزش همراه با نظارت، شبکه‌های پسانتشار روبه جلو (FFBP⁵) مانند الگوریتم لونیبرگ-مارکواریت⁶ (trainlm)، الگوریتم trainscg و چند نوع الگوریتم آموزش دیگر استفاده شد و نتایج آنها مقایسه می‌شود (شکل ۲). لازم به ذکر است که در مسایل خشک کردن الگوریتم آموزش trainlm بهترین نتیجه را دارد.



شکل ۳- توابع آستانه

همانطور که گفته شد، تعداد کل الگوهای ورودی شبکه ۲۰۹۱، که ابتدا نرمال‌سازی شده و سپس بصورت تصادفی به سه گروه آموزش (۶۰٪)، ارزیابی (۳۰٪) و تست (۱۰٪) تقسیم‌بندی شدند. همچنین نرخ آموزش (lr) برای تمامی حالات ۰/۲ و میزان مومنتم ۰/۱ در نظر گرفته شد. کد مورد نیاز برای شبیه‌سازی شبکه عصبی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB R2008b توسعه داده شد، بهترین توپولوژی شبکه عصبی بر اساس دو معیار ضریب تعیین R^2 و MSE مشخص گردید. بهترین برازشی که می‌تواند خصوصیات خشک شدن قارچ را توصیف کند، توپولوژی است که دارای بیشترین ضریب تعیین (R^2) و کمترین MSE باشد.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - p_i)^2 \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (a_i - p_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\left[\sum_{i=1}^n (\bar{a}_i - \bar{p}_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

در این رابطه ها، \bar{a}_i نسبت رطوبت تجربی \bar{a}_i بدست آمده از آزمایش، \bar{p}_i نسبت رطوبت پیشگویی شده \bar{a}_i نام توسط شبکه، N تعداد مشاهدات خشک شدن می باشد.

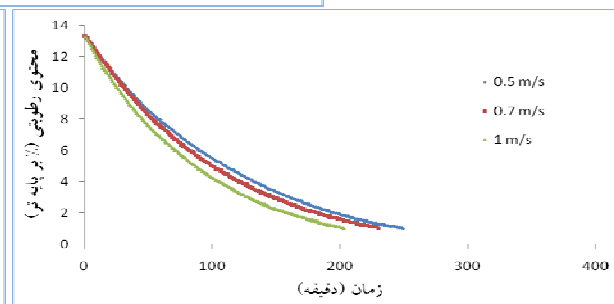
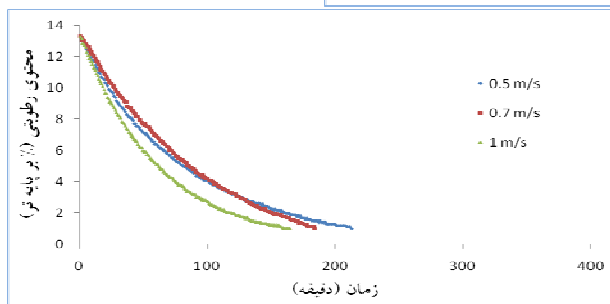
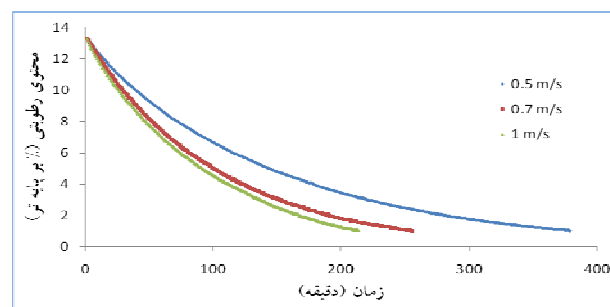
۳- نتایج

رطوبت اولیه قارچ به روش وزنی برابر ۱۳/۲۸۶٪ بر پایه خشک (d.b.) بود. پس از بدست آوردن مقادیر نسبت رطوبت در دما و سرعت‌های مختلف خشک کردن، منحنی‌های خشک کردن حاصل از داده های آزمایشی برازش داده شدند. در شروع فرآیند خشک کردن، رطوبت اولیه محصول زیاد بوده و نرخ از دست دادن رطوبت زیاد است.

-
- 4 - Perceptron Multi Layer
 - 5 - Feed Forward Back Propagation
 - 6 - Levenberg-Marquardt Technique

بتدریج با پیشرفت زمان محتوی رطوبت محصول به طور طبیعی کاهش پیدا کرده و نرخ کاهش رطوبت به طور طبیعی کاهش می یابد. محصول عمده رطوبت خود را در لحظات اولیه پروسه خشک کردن از دست می دهد و زمان زیادی برای از دست دادن رطوبت باقیمانده لازم است.

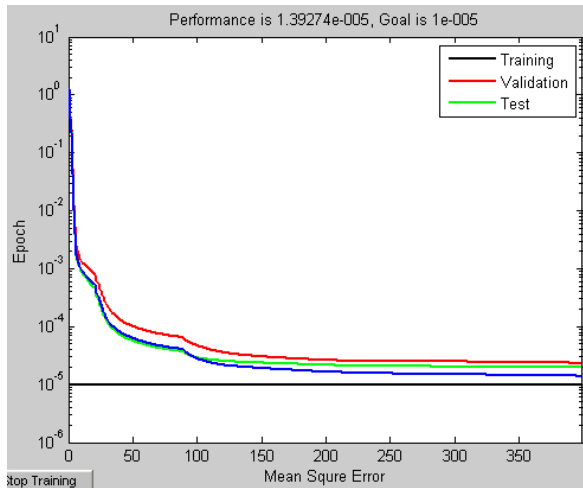
شکل ۴ منحنی های خشک شدن لایه نازک قارچ در دماهای متفاوت و سرعت متفاوت را نشان می دهند. در سرعت های پایین تر، مدت زمان کل خشک شدن بیشتر است. مشخص گردید که با افزایش دما، زمان خشک کردن به علت افزایش گرادیان حرارتی در داخل جسم و در نتیجه افزایش سرعت تبخیر رطوبت محصول کاهش می یابد. مشخص گردید که در روش جریان هوای گرم با افزایش سرعت جریان هوا، زمان خشک کردن محصول به طور معنی داری کاهش می یابد. علت این پدیده در آن است که با افزایش سرعت جریان هوا فشار بخار محیط کاهش می یابد و در نتیجه رطوبت محصول برای خروج از آن با مقاومت کمتری مواجه خواهد بود و با سرعت بیشتری از آن خارج می گردد. یعنی در این روش جریان هوای گرم و در سرعت جریان هوای ۰/۵، ۰/۷ و ۱ متر بر ثانیه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس، اختلاف زمان خشک کردن به ترتیب ۳۸۱/۷، ۲۵۲ و ۲۱۵/۷ دقیقه، در دمای ۵۰ درجه سلسیوس، اختلاف زمان خشک کردن به ترتیب ۲۵۷، ۲۳۲ و ۱۸۶/۷ دقیقه و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، اختلاف زمان خشک کردن به ترتیب ۲۱۶، ۲۰۵ و ۱۶۷/۷ دقیقه، معنی دار هستند.



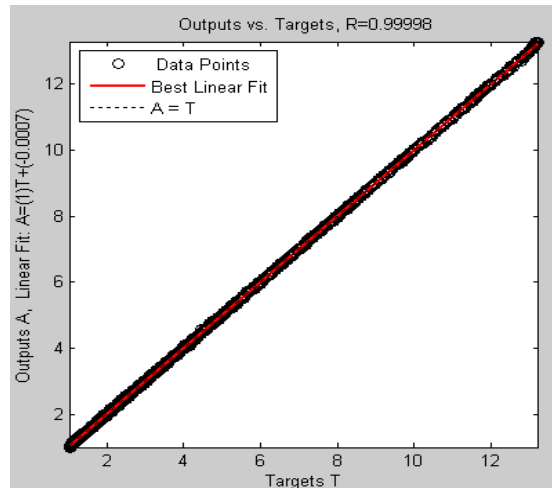
شکل ۳- منحنی های محتوی رطوبتی خشک شدن لایه نازک قارچ سرعت های مختلف و در دماهای الف) ۴۰، ب) ۵۰ و ج) ۶۰ درجه سلسیوس

برای بررسی عملکرد شبکه MLP چند لایه از توپولوژی های مختلف با تعداد نرون های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. این توپولوژی ها کاملاً بصورت سعی و خطا انتخاب و شبیه سازی می شوند. در مرحله اول بعد از آموزش شبکه بهترین توپولوژی بر اساس R^2 , MSE از میان توپولوژی های مختلف تعیین شد. جدول (۲) خلاصه ای از بهترین نتایج مدل سازی شبکه عصبی را نشان می دهد. نتایج حاصل از به کارگیری شبکه عصبی با توپولوژی های مختلف نشان داد که بهترین توپولوژی دارای ساختاری با معماری ۱-۲۰-۱۸-۳ (۳ نرون در لایه

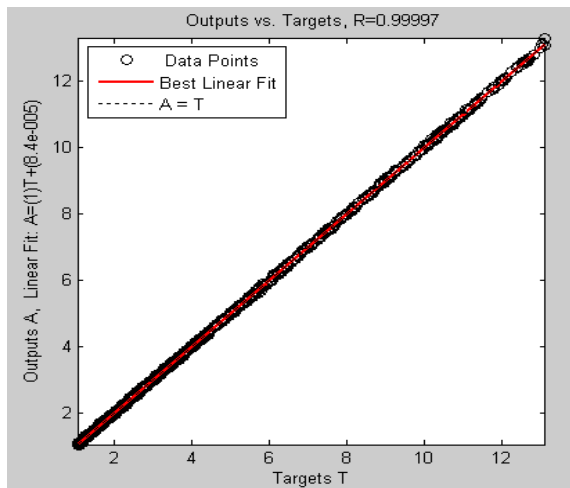
ورودی، تعداد نرون در دو لایه پنهان به ترتیب ۲۰ و ۱۸ و تعداد نرون در لایه خروجی ۱)، از شبکه MLP با الگوریتم یادگیری LM و تابع آستانه $\log\text{sig}$ و Tansig با تعداد چرخه آموزش ۳۷۱ بود. این توپولوژی تغییرات محتوای رطوبتی را با ضریب تعیین ۱ و خطای آموزش ۰/۰۰۰۱ شبکه را آموزش داده و محتوای رطوبتی را پیش‌بینی می‌کند (جدول ۲). مدت زمان مورد نیاز برای همگرا شدن شبکه ۷۸/۳۴ ثانیه بود که نشان از قابلیت بالای شبکه عصبی به عنوان ابزاری برای پیش‌بینی تغییرات محتوای رطوبتی با زمان است که می‌تواند در سیستم‌های کنترل خشک‌کن به کار رود.



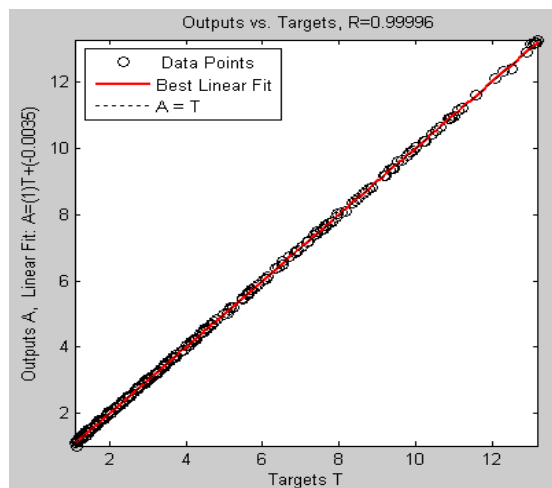
منحنی آموزش شبکه (خطای آموزش)



برازش خطی برای داده‌های آموزش



برازش خطی برای داده‌های ارزیابی



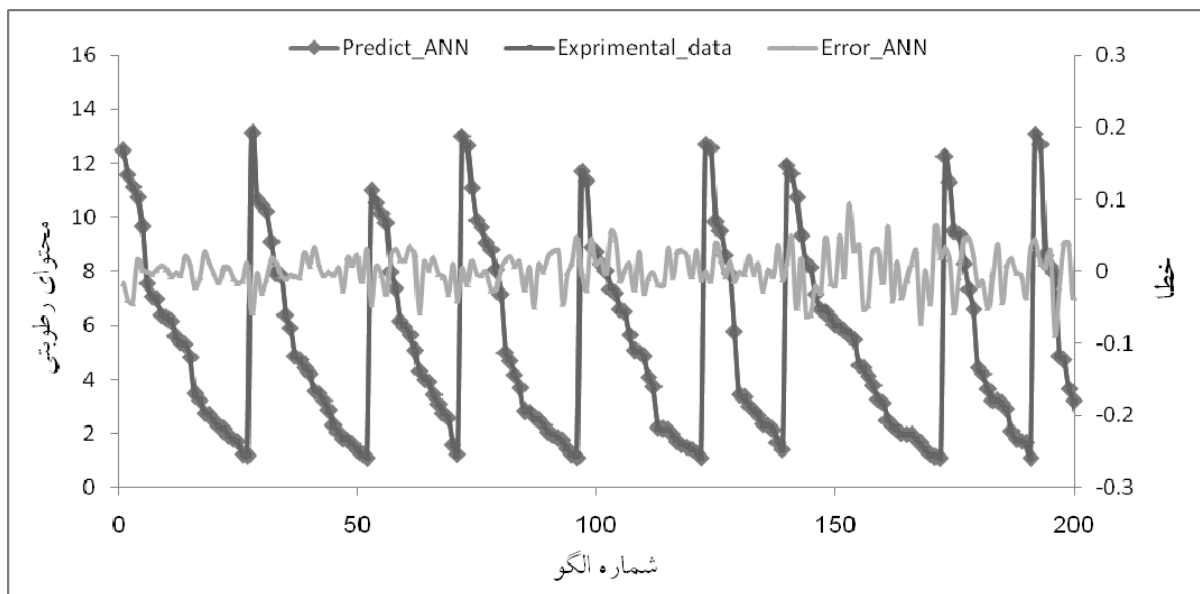
برازش خطی برای داده‌های تست

شکل ۵- منحنی آموزش شبکه و منحنی‌های مربوط به تحلیل رگرسیونی آموزش، ارزیابی و تست

در ادامه برای تحقیق دقیق‌تر بروی مدل‌ها از آنالیز رگرسیونی بین داده‌های آزمایشگاهی و نتایج خروجی شبکه عصبی استفاده شد که در شکل‌های (۵) نشان داده شده است. بهترین همبستگی بین داده‌های پیش‌بینی شده توسط

شبکه عصبی و داده‌های آزمایشگاهی برای مراحل آموزش، ارزیابی و تست به ترتیب با ضریب تعیین ۱، ۰/۹۹۹۹ و ۱ و خطای آموزش ۰/۰۰۰۱ برای همه حالت‌ها بدست آمد.

مقایسه محتوی رطوبتی پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و مقادیر تجربی بدست آمده از آزمایشگاه در شکل (۶) برای بهترین توپولوژی (۱-۱۸-۲۰-۳) برای قسمت تست (۲۰۹ الگو) نشان داده شده است. در این نمودار میزان خطای پیش‌بینی شبکه نیز آورده شده است. نتایج شبیه‌سازی شبکه عصبی نشان می‌دهد که میزان خطا در اکثر الگوهای قسمت تست در حدود صفر می‌باشد، که حاکی از قابلیت شبکه در پیش‌بینی محتوی رطوبتی در فرایند خشک کردن می‌باشد.



شکل ۶- مقایسه محتوی رطوبتی پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و مقادیر تجربی برای قسمت تست

۴- نتیجه گیری

با وجود اینکه خشک کردن محصولات کشاورزی جهت ماندگاری و کاهش ضایعات یک امر ضروری است، اما فرایند خشک کردن نیازمند دانش، خشک کن‌های دقیق است که فرایندی پر هزینه و زمان‌بر است. به همین جهت یافتن بهترین شرایط خشک کردن نیازمند انجام آزمایشات مکرر و هزینه‌بر همراه با صرف زمان است. لذا استفاده از شبکه‌های عصبی جهت پیش‌بینی محتوی رطوبتی در فرایند خشک کردن محصولات کشاورزی می‌تواند تا حدود زیادی این هزینه و زمان را برای الگوهایی که آزمایش نشده‌اند کاهش دهند.

بهترین توپولوژی شبکه عصبی FFBP برای خشک کردن لایه نازک قارچ ۱-۱۸-۲۰-۳ با الگوریتم آموزش trainlm می‌باشد، که خطای آموزش آن ۰/۰۰۰۱ است. همبستگی بین داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی با نتایج تجربی ۱ برای حالت تست می‌باشد.

جدول ۲: نتایج ساختارهای مختلف شبکه عصبی خشک کردن لایه نازک قارچ خوراکی

زمان شبیه سازی (Sec)	تکرار (epoch)	R^2			خطای شبکه (MSE)			تعداد نرون ها		قاعده آموزش	تابع آستانه
		تست	ارزیابی	آموزش	تست	ارزیابی	آموزش	لایه دوم	لایه اول		
۵۳/۳۱	۳۶۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰	۱۵	trainlm	Log/Tan
۴۱/۶۲	۴۹۷	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰	۱۸	trainlm	Log/Tan
۳۹/۳۳	۴۳۰	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵	۰	۲۰	trainlm	Log/Tan
۶۹/۳۸	۹۳۲	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰	۲۲	trainlm	Log/Tan
۵۲/۳۴	۴۸۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰	۲۵	trainlm	Log/Tan
۵۷/۸۵	۱۷۸۳	۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۸۷	۰/۹۹۸۶	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۴	۰	۱۵	trainrp	Log/Tan
۶۱/۷۴	۴۴۷	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۱۵	۱۲	trainlm	Log/Tan/Tan
<u>۷۸/۳۴</u>	<u>۳۷۱</u>	<u>۱/۰۰۰</u>	<u>۰/۹۹۹۹</u>	<u>۱/۰۰۰</u>	<u>۰/۰۰۰۰۱</u>	<u>۰/۰۰۰۰۱</u>	<u>۰/۰۰۰۰۱</u>	<u>۲۰</u>	<u>۱۸</u>	trainlm	Log/Tan/Tan
۶۲/۰۱	۲۶۰	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۱۸	۲۰	trainlm	Log/Tan/Tan
۸۶/۰۷	۴۰۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۲۰	۲۰	trainlm	Log/Tan/Tan
۱۵۴/۴۸	۵۵۳	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۱۸	۲۵	trainlm	Log/Tan/Tan
۳۰۴/۴۵	۱۲۲۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۲۰	۲۵	trainlm	Log/Tan/Tan
۵۱/۰۶	۴۰۹	۰/۹۹۸۳	۰/۹۹۸۳	۰/۹۹۸۶	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۴	۲۰	۱۸	trainrp	Log/Tan/Tan
۸۱/۳۳	۲۰۰۰	۰/۹۸۵۵	۰/۹۸۲۸	۰/۹۸۵۸	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۰۵۰	۰/۰۰۰۴۶	۲۰	۱۸	traingd	Log/Tan/Tan
۴۹/۰۶	۹۶	۰/۸۸۳۱	۰/۸۷۷۱	۰/۸۷۷۸	۰/۰۳۲۳	۰/۰۴۰۲	۰/۰۳۶۶	۲۰	۱۸	traingda	Log/Tan/Tan

منابع و مأخذ:

- ۱- البرزی، م. آشنایی با شبکه عصبی، چاپ دوم، انتشارات علمی دانشگاه شریف، ۱۳۸۳.
- ۲- حاجی زاده، ر (۱۳۷۴). بررسی روش نگهداری قارچ خوراکی دکمه ای به صورت اسلایس و پودر. پایان نامه کارشناسی ارشد صنایع غذایی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۹۴ ص.
- ۳- خوش تقاضا، م. ه. امیری چایجان، ر. منتظر، غ. و مینایی، س. ۱۳۸۶. پیش بینی ضریب تبدیل شلتوک به برنج سفید در خشک کردن به روش بستر ثابت به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۸ (۲): ۱۳۵-۱۵۶.
- ۴- ذکایی، م (۱۳۷۵). بیولوژی قارچ ها. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۴۳ ص.
- ۵- گازر، ح. ، س. مینایی و ع. بصیری (۱۳۸۲). تاثیر تغییرات دما، سرعت جابه‌جایی هوا و ضخامت لایه محصول در فرآیند خشک کردن پسته کله‌قوچی. مجله علوم کشاورزی، جلد ۹، شماره ۱، ص ۱۰۳-۸۹.
- ۶- مهاجران، س. ح (۱۳۸۳). ساخت خشک کن تابش مادون قرمز آزمایشگاهی برای خشک کردن شلتوک. پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، ۸۷ ص.
- 7- AOAC. (1980). Official methods of analysis (13th Ed.). Washington, DC Association of Official Analytical Chemists.
- 8- Cubillos, F., and Reyes, A. 2003. Design of a model based on a modular neural network approach. *Drying Technology*, 21(7):1185-1195.
- 9- Dayhoff, J. E. 1990. *Neural Network Principles*. Prentice-Hall International, U.S.A
- 10- Farkas, I., Remenyi, P. and Biro, B. 2000a. A neural network topology for modeling grain drying. *Computers and Electronics in Agriculture*. 26: 147-158.
- 11- Karathanos, T and G. Belessiotis. (1999). Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried Fruits. *J. agric. Eng*, 74, pp 355- 361.
- 12- Koyuncu, T., Serdar, U., Tosun, I. (2004). Drying characteristics and energy requirement for dehydration of chestnuts (*Castanea sativa* Mill.). *Journal of Food Engineering*, 62: pp. 165-168.
- 13- Lertworasirikul, S., Tipsuwan, Y. (2008). Moisture content and water activity prediction of semi-finished cassava crackers from drying process with artificial neural network. *Journal of Food Engineering*, 85: pp. 65-74.
- 14- Raquel, P., Guine, F., Raquel M., Fernandes, C. (2006). Analysis of the drying kinetics of chestnuts. *Journal of Food Engineering*, 76: pp. 460-467.
- 15- Walde, S. G., V. Velu, T. Jyothirmayi and R. G. Math. (2006). Effects of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom. *Journal of Food Engineering*. 74: 108-115.
- 16- Wang, Z., J. Sun, X. Liao, F. Chen, G. Zhao, J. Wu, and X. Hu. (2007). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, 40, pp 39-46.

Abstract

Nowadays edible mushroom as a full protein and less calorie food source and also for medicinal consumption has got a great consideration. With increasing production of edible mushroom the needs for storing, improving insolubility, decreasing wastage and usage of mushroom powder more and more is felt. For this reason drying this crop as a practical way is considered. Nowadays considering artificial technology advantages usage of neural network in a vast range for simulation and prediction of necessary parameters for drying processes is developing. The objective of this study is predicting moisture content of edible mushroom with neural network during drying process. In this study the thin layers of edible mushroom using a vertical flow of hot air drier in three temperature levels: 40,50,60°C and in three air flow speed levels: 0.5, 0.7, 1 m/s is dried until up to 1%(d.b.) fixed moisture content. For predicting edible moisture content feed forward back propagation neural network with Levenberg–Marquardt Technique for training patterns was used. Comparing R^2 and MSE showed that neural network with 3-20-18-1 structure with sigmoid threshold and logarithmic function in comparison with other topologies has showed better results with $R^2=1$ and $MSE= 0.0001$.

Keywords: edible mushroom, drying, moisture content, neural network