

بررسی تغییرات رطوبت گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) در خشک کن جریان هوای داغ با استفاده از مدل های ریاضی و شبکه های عصبی مصنوعی

سیدرضی کریمی آکندی^۱ و احمد بناکار^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

پست الکترونیک: ah_banakar@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۱

تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۳۹۱

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۰

چکیده

گل محمدی با نام علمی *Rosa damascene* Mill. گیاهی متعلق به تیره Rosaceae و از جمله گیاهان حاوی اسانس می باشد که دارای خواص دارویی زیادی است. استخراج کمی و کیفی اسانس و در عین حال توجیه اقتصادی آن بستگی به روشهای مناسب خشک کردن دارد. روش مناسب خشک کردن، ضایعات و خسارتها را در طول انبارداری کاهش داده و به کیفیت محصول کمک می کند. هدف از این تحقیق پیش بینی میزان رطوبت گل محمدی در طی فرایند خشک شدن با جریان هوای داغ به عنوان تابعی از دمای هوا در چهار سطح (۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد) و سرعت هوا در سه سطح (۱، ۵/۰ و ۱۰/۵ m/s) به کمک شبکه های عصبی مصنوعی بود. متوسط رطوبت اولیه ۷۸٪ و متوسط رطوبت نهایی ۹٪ تعیین گردید. نمودارهای محتوی رطوبتی با استفاده از نرم افزار Excel بدست آمدند و فرایند خشک شدن نیز با استفاده از نرم افزار Matlab مدل سازی ریاضی گردید. سپس فرایند خشک شدن با استفاده از شبکه های عصبی با سه ورودی دما، سرعت هوا و زمان مدل سازی شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شبکه های عصبی با دقت بیشتری نسبت به مدل های ریاضی توانایی مدل سازی و پیش بینی فرایند خشک شدن گل محمدی را دارند و می توان از آنها در فرایند کنترل بلادرنگ استفاده نمود.

واژه های کلیدی: گل محمدی (*Rosa damascene* Mill.)، خشک کن جریان هوای داغ، شبکه عصبی مصنوعی، لایه نازک.

مقدمه

مناطق و استان های کشور به خصوص آذربایجان، اصفهان، مرکزی، کرمان، فارس، چهارمحال و بختیاری، همدان، سمنان، گلستان و یزد سابقه کشت دارد و از آن گل خشک، گلاب و اسانس تهیه می شود که مصارف خوراکی، دارویی و عطرسازی دارند. براساس آخرین اطلاعات حدود ۲۵۰۰ هکتار از اراضی کشور به کشت گل محمدی اختصاص دارد و حدود ۱۳۵۰ تن گل تر، ۱۹۰ تن گل خشک، ۱۳۵۰ تن گلاب و حدود ۲۰۰ کیلوگرم اسانس از آن استحصال می شود. با توجه به وضعیت اکولوژیکی کشور ما در بسیاری از زمینهای درجه ۲ و ۳ اقدام به

رزه درختچه هایی از خانواده گل سرخ (Rosaceae) می باشند. این خانواده متجاوز از ۲۰۰۰ گونه و حدود ۱۰۰ جنس را دربرمی گیرد. گل محمدی یا گل گلاب درختچه ایست خزان دار (Deciduous) و شاید بندرت در بین آنها گونه ای همیشه سبز (Evergreen) یافت شود. جنس *Rosa* دارای ۲۵۰ گونه است که مهمترین آنها به غیر از گل محمدی از نظر تهیه اسانس و گلاب عبارتند از: *R. moschata*, *R. alba*, *R. centrifolia* (نسترن) و *R. caninal* (امیدبگی، ۱۳۷۹). گل محمدی در بیشتر

فرایندها استفاده می‌شود (Banakar & Azeem, 2008). یکی از روشهای هوش مصنوعی که در سطح وسیعی استفاده از آن در فرایند خشک کردن از دهه گذشته آغاز شده و برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مورد نیاز در فرایند خشک کردن در حال بسط و توسعه است، شبکه‌های عصبی می‌باشد. نمونه‌هایی از کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در خشک کردن محصولات کشاورزی عبارتند از: پیش‌بینی آهنگ خشک کردن سیب‌زمینی (Islam et al., 2003)، برای تعیین آهنگ خشک کردن ریشه درخت جنسینگ (Martynenko & Yang, 2006)، در فرایند خشک کردن لایه نازک هویج (Erenturk & Erenturk, 2007)، مدل‌سازی دینامیکی خشک کردن لایه نازک گیاه دارویی *Echinacea angustifolia* (Erenturk et al., 2004) و برای پیش‌بینی نسبت رطوبتی قارچ و پیش‌بینی دما و رطوبت ورقه‌های نازک گوجه‌فرنگی در یک خشک‌کن مایکروویو تحت خلأ (Poonnoy et al., 2006). Omid و همکاران (۲۰۰۹) برای مدل‌سازی سینتیک خشک شدن پسته در سطوح مختلف دما و سرعت و Khazaie و همکاران (۲۰۰۸) نیز در مدل‌سازی سینتیک خشک کردن گوجه‌فرنگی از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده کرده‌اند. در سال‌های اخیر دانشمندان به زبان‌های ناشی از مصرف سموم شیمیایی، مواد نگهدارنده افزودنی، اسانس‌ها و طعم‌های مصنوعی کاملاً بی‌برده‌اند و مطالعات زیادی سرطان‌ها و بیماری‌های مختلفی را با این موضوع مرتبط می‌دانند. با توجه به اینکه کشور ما دارای غنی‌ترین منابع گیاهی از نظر مقدار و تنوع در سطح جهان می‌باشد (موسویان و بصیری، ۱۳۸۷)، در این مقاله فرایند خشک شدن گلبرگ‌های گل محمدی با استفاده از مدل‌های ریاضی و شبکه‌های عصبی مدل‌سازی می‌گردد و با یکدیگر مقایسه می‌شود.

مواد و روشها

نمونه‌های آزمایش

در این تحقیق، گل‌های گل محمدی در مرداد ماه از مزارع شهرستان اردبیل به صورت تصادفی برداشت گردید؛ سپس گلبرگ‌های آن جدا شد و تا زمان انجام آزمایش در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری گردید. نمونه‌های ۵ گرمی برای هر آزمایش به صورت لایه نازک و ۳ تکرار در خشک‌کن قرار گرفت.

کشت و کار گل محمدی می‌شود. خشک کردن یکی از فرایندهای مهم در فرآوری گل محمدی می‌باشد که کاربردهای زیادی در صنایع داروسازی، غذا و عطرسازی دارد؛ بنابراین طراحی یک سیستم عملیاتی برای فرایند خشک کردن ضروری به نظر می‌رسد. اغلب محصولات کشاورزی مانند گلبرگ‌ها در شرایطی برداشت می‌شوند که محتوای رطوبتی آنها جهت ذخیره مطلوب بسیار بالاست. به علت سرعت بالای فاسد شدن در محصولاتی که به صورت مرطوب برداشت شده‌اند، انجام اعمالی برای جلوگیری از پیدایش و گسترش کپک ضروری به نظر می‌رسد. خشک کردن محصولات کشاورزی تا محتوای رطوبتی مناسب، سبب فراهم نشدن محیط لازم برای رشد موجودات زنده‌ای نظیر مخمرها، کپک‌ها و باکتریها و جلوگیری از فساد آنها می‌گردد.

برای سرعت بخشیدن به عمل خشک شدن و جلوگیری از آلودگی‌ها، خشک کردن با خشک‌کن‌های صنعتی مانند خشک‌کن‌های با جریان هوای داغ و نیز خشک‌کن‌های خورشیدی جایگزین روشهای سنتی گردیده‌است، به طوری که امکان تولید محصولات با کیفیت بالاتر و بدون ضایعات را در زمان کوتاه‌تر فراهم کرده‌است. از معایب عمده خشک‌کن‌های خورشیدی محدود بودن زمان تابش خورشید و فصل کوتاه برداشت برای بیشتر محصولات کشاورزی است. خشک‌کن‌های جریان هوای داغ، فرایند خشک شدن را تسریع نموده و با ایجاد شرایط بهداشتی، سبب خشک شدن یکنواخت محصولات کشاورزی می‌گردند (Hall, 1980)؛ (Erenturk et al., 2004). خشک کردن گل محمدی در هوای داغ یکی از روشهای مؤثر در کاهش ضایعات و حفظ کیفیت آن است. بدین منظور نیاز است که خشک‌کن‌های موجود، طراحی و بهینه‌سازی مجدد شوند. با توجه به اینکه پیش‌بینی تغییرات آهنگ خشک شدن در طی زمان مهمترین قسمت‌های فرایند خشک کردن است، نیاز است تا فرایند خشک کردن مدل‌سازی گردد. در حالی که مدل‌های ریاضی از جمله مدل‌های رایج در فرایند خشک کردن است، شبکه‌های عصبی نشان داده‌اند که دارای دقت و سرعت لازم برای پیش‌بینی فرایند خشک کردن می‌باشند (صیاد، ۱۳۸۴).

امروزه با توسعه سریع فناوری پردازش رایانه‌ای و ایجاد نرم‌افزارهای مربوط، از مزایای فناوری هوش مصنوعی برای حل مسائل مربوط به مدل‌سازی سیستم‌ها و پیش‌بینی

که m جرم لحظه‌ای، m_d جرم خشک شده و $M_{d,i}$ رطوبت نمونه در لحظه t_i می‌باشد.



شکل ۱- دستگاه خشک‌کن جریان هوای داغ به همراه ترازو

مدل‌سازی ریاضی فرایند خشک شدن

در مدل‌سازی ریاضی صورت گرفته، نسبت رطوبت به رطوبت اولیه تا رسیدن به رطوبت تعادلی به‌عنوان متغیر وابسته در محور Y ها نسبت به زمان می‌آید. مدل‌های مورد استفاده در مدل‌سازی ریاضی فرایند خشک کردن گل محمدی در جدول ۱ آورده شده‌اند. مقادیر ثابت‌های a ، b ، c ، k و γ هفت مدل توصیفی مورد مطالعه، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به سنتیک خشک کردن گلبرگ‌های گل محمدی به کمک ابزار برازش منحنی در نرم‌افزار Excel برآورد گردید.

خشک‌کن آزمایشگاهی مورد استفاده

در این تحقیق از یک دستگاه خشک‌کن هوای داغ آزمایشگاهی استفاده گردید. این دستگاه قابلیت تنظیم دمای هوای خشک‌کن بین 150°C – 20°C و سرعت جریان هوای بین $0.1-8\text{m/s}$ را با دقت بالایی دارد. دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی مذکور از یک سیستم تنظیم سرعت جریان هوا، قسمت گرم‌کننده برقی، سیستم کنترل دمای هوای خشک‌کن، دمنده الکتریکی، حس‌گرها و محفظه خشک‌کن تشکیل شده‌است. وزن کردن نمونه‌ها در طول فرایند خشک شدن با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با حساسیت 0.01 و ظرفیت 1500 گرم انجام گردید. متغیرهای اندازه‌گیری در این تحقیق دمای جریان هوا، سرعت جریان هوا، رطوبت نسبی هوا و تغییر وزن نمونه‌ها می‌باشد. دمای مورد استفاده برای خشک کردن نمونه‌ها در چهار سطح 40 ، 50 ، 60 و 70°C و سرعت‌های جریان هوا در سه سطح 0.5 ، 1 و 1.5m/s انجام شد.

تعیین محتوای رطوبتی در طول آزمایش‌ها

رطوبت اولیه به روش گراویمتریک در دمای 102°C و به مدت 2 ساعت تعیین شد. برای هر دما و سرعت هوا، به‌منظور بررسی ویژگی‌های خشک شدن گل محمدی، کاهش وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. میزان رطوبت M_w بر پایه تر، M_d بر پایه خشک و نسبت رطوبتی MR از پارامترهای مهم تعیین شده در این فرایند بودند (Fatouh *et al.*, 2006; Ekechukwu *et al.*, 1999).

$$M_w = (m - m_d) / m \quad (1)$$

$$M_d = (m - m_d) / m_d \quad (2)$$

$$MR = (M_d - M_{d,f}) / (M_{d,i} - M_{d,f}) \quad (3)$$

جدول ۱- مدل‌های ریاضی استفاده شده در فرایند خشک کردن گل محمدی

| معادله مدل | نام مدل | مرجع |
|--|---------------------|-------------------------------|
| $MR = \exp(-kt)$ | Newton | Ayensu, 1997 |
| $MR = \exp(-kt^n)$ | Page | Diamante & Munro, 1993 |
| $MR = \exp(-(kt)^n)$ | Modified Page | Ozdemir & Devres, 1999 |
| $MR = a \exp(-kt)$ | Henderson and Pabis | Henderson & Pabis, 1961 |
| $MR = a \exp(-kt) + c$ | Logarithmic | Yaldiz <i>et al.</i> , 2001 |
| $MR = a \exp(-k_1 t) + b \exp(-k_2 t)$ | Two-term model | Togrul & Pehlivan, 2002 |
| $MR = a \exp(-kt) + bt$ | Midi Ili | Midi Ili <i>et al.</i> , 2002 |

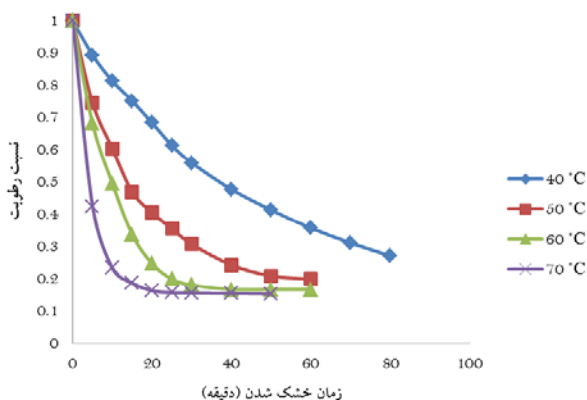
$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{pre,i}) \cdot \sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{exp,i})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{pre,i})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{exp,i})^2 \right]}} \quad (4)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

نتایج

مدل‌سازی ریاضی

مدل‌های توصیفی مورد مطالعه در جدول ۱ با استفاده از داده‌های مورد آزمایش مربوط به روند خشک کردن گلبرگ‌های گل محمدی (نسبت رطوبت به‌عنوان تابعی از خشک کردن) در شرایط متفاوت خشک کردن با استفاده از نرم‌افزار MATLAB برآورد گردیدند. از بین مدل‌های مذکور، با استفاده از ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا بین داده‌های تجربی و نتایج مدل‌سازی مناسبترین مدل انتخاب گردید. از میان مدل‌های ریاضی، مدل میدلی با خطای $1/14 \times 10^{-2}$ به‌عنوان بهترین مدل جهت مدل‌سازی تعیین گردید. ولی همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد، مدل دو عبارتی با خطای $6/66 \times 10^{-2}$ قابلیت بالاتری در پیش‌بینی سینتیک خشک کردن گلبرگ‌های گل محمدی داراست؛ بنابراین این مدل به‌عنوان بهترین و مناسبترین مدل ریاضی برای توصیف سینتیک خشک کردن گلبرگ‌های گل محمدی انتخاب می‌گردد.



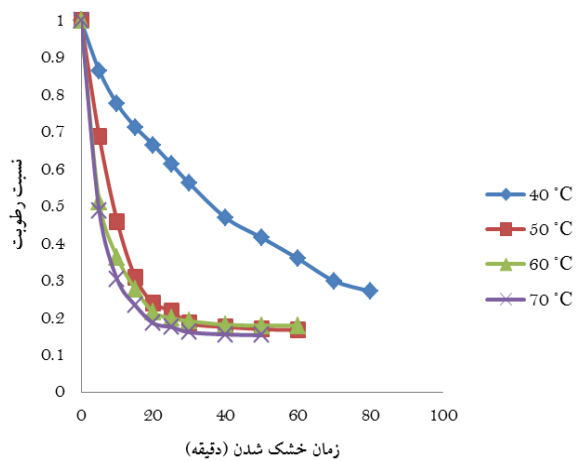
شکل ۲- نسبت رطوبتی خشک شدن گلبرگ‌های گل محمدی در دماهای مختلف و سرعت هوای ۰/۵ متر بر ثانیه

مدل‌سازی شبکه‌های عصبی

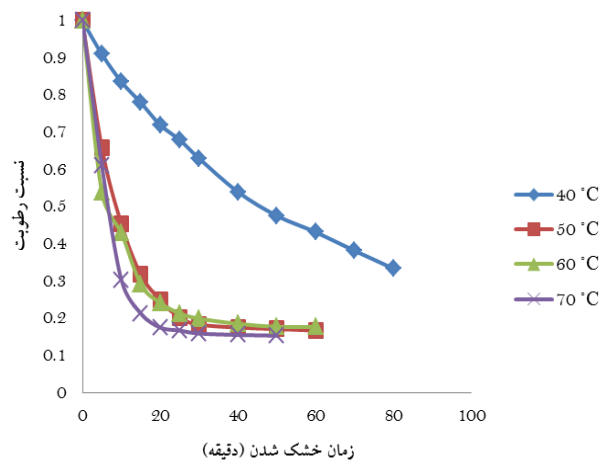
در بسیاری از مسائل پیچیده ریاضی که به حل معادلات بفرنج غیرخطی منجر می‌شود، یک شبکه‌ی پرسپترون چند لایه می‌تواند به سادگی با تعریف وزن‌ها و توابع فعالیت مناسب مورد استفاده قرار گیرد. این وزن‌ها حافظه و دانش شبکه را بیان می‌کنند. شبکه عصبی آموزش دیده می‌تواند برای پیش‌بینی خروجی‌های متناسب با مجموعه جدید داده‌ها بکار رود. در این نوع شبکه‌ها از یک لایه ورودی برای اعمال ورودی‌های مسئله یک یا چند لایه‌ی پنهان و یک لایه‌ی خروجی که نهایتاً پاسخ‌های مسئله را ارائه می‌نمایند، استفاده می‌شود. گره‌هایی که در لایه‌ی ورودی هستند، نرون‌های ورودی یا حسی و گره‌های لایه‌ی خروجی، نرون‌های پاسخ‌دهنده هستند. در لایه‌ی پنهان نیز، نرون‌های پنهان یا مخفی وجود دارد. شبکه‌های پرسپترون چند لایه می‌توانند با هر تعداد لایه ساخته و بکار گرفته شوند، ولی قضیه‌ای که ما در این‌جا بدون اثبات می‌پذیریم؛ بیان می‌کند که یک شبکه پرسپترون سه لایه با تعداد نرون کافی قادر است هر نوع فضایی را تفکیک کند. این قضیه که قضیه‌ی کولموگوروف (Kolmogrov Theorem) نامیده می‌شود، بیانگر مفهوم بسیار مهمی است که می‌توان در ساخت شبکه‌های عصبی از آن استفاده کرد (Khazaei *et al.*, 2008; Banakar & Azeem, 2008). با توجه به ساختار شبکه عصبی و پردازش موازی نرون‌ها علاوه بر سرعت بالای پردازش این شبکه‌ها دارای توانایی تعمیم دانش پس از یادگیری، انعطاف‌پذیری در برابر خطاهای ناخواسته و عدم ایجاد اختلال قابل‌توجه در صورت بروز اشکال در بخشی از اتصال‌ها می‌باشند. در این تحقیق از الگوریتم یادگیری لونیگ-مارکورات با تابع فعالیت تانژانت سیگموئیدی برای آموزش شبکه عصبی استفاده گردید.

تحلیل آماری مدل‌ها

برای انتخاب مدل مناسب توصیف‌کننده سینتیک خشک شدن گل محمدی، ضریب همبستگی (۴) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE: Root Mean Square Error) (۵)، بین داده‌های تجربی و نتایج پیش‌بینی شده توسط هر مدل محاسبه و با مدل‌های دیگر مقایسه گردید و در نهایت مدل خشک شدن با حداکثر ضریب همبستگی و حداقل RMSE به‌عنوان مدل مناسب برای توصیف سینتیک خشک کردن گل محمدی انتخاب گردید (Lasasni *et al.*, 2004).



شکل ۴- نسبت رطوبتی خشک شدن گلبرگ‌های گل محمدی در سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه



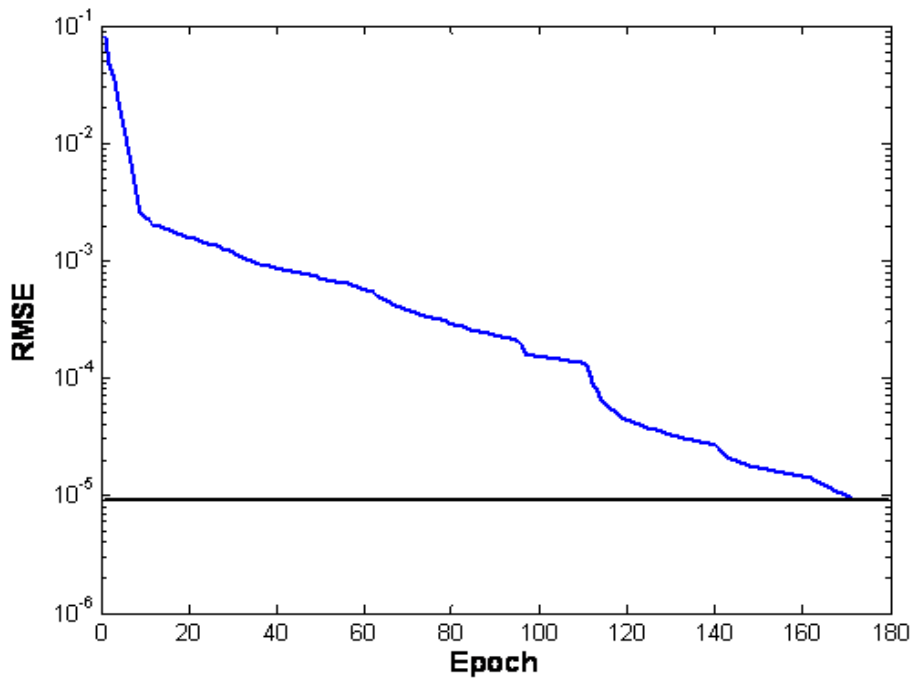
شکل ۳- نسبت رطوبتی خشک شدن گلبرگ‌های گل محمدی در دماهای مختلف و سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه

جدول ۲- مقایسه نتایج مدل‌های ریاضی استفاده شده در فرایند خشک کردن گل محمدی

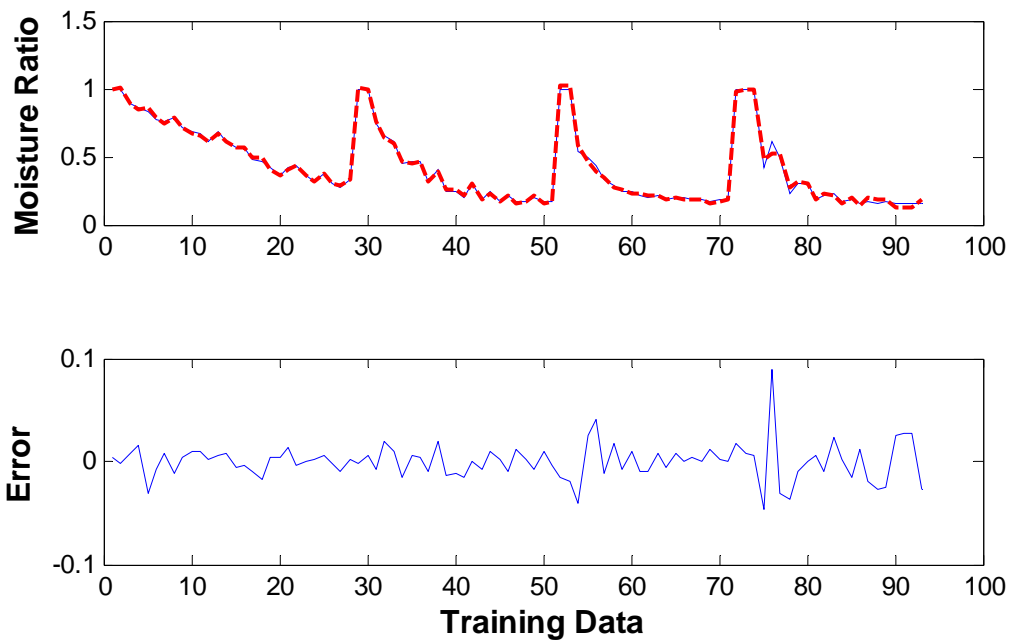
| مدل | RMSE (خطای آموزش) | RMSE (خطای پیش‌بینی) |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Newton | 1.54×10^{-1} | 1.17×10^{-1} |
| Page | 9.52×10^{-2} | 9.01×10^{-2} |
| Modified page | 3.43×10^{-2} | 9.66×10^{-2} |
| Henderson and pabis | 8.97×10^{-2} | 9.50×10^{-2} |
| Logarithmic | 1.22×10^{-2} | 1.43×10^{-1} |
| Two-Term model | 5.70×10^{-2} | 6.66×10^{-2} |
| Midili | 1.14×10^{-2} | 7.47×10^{-2} |

جدول ۳- نتایج مدل‌سازی فرایند خشک کردن گل محمدی با استفاده از شبکه عصبی

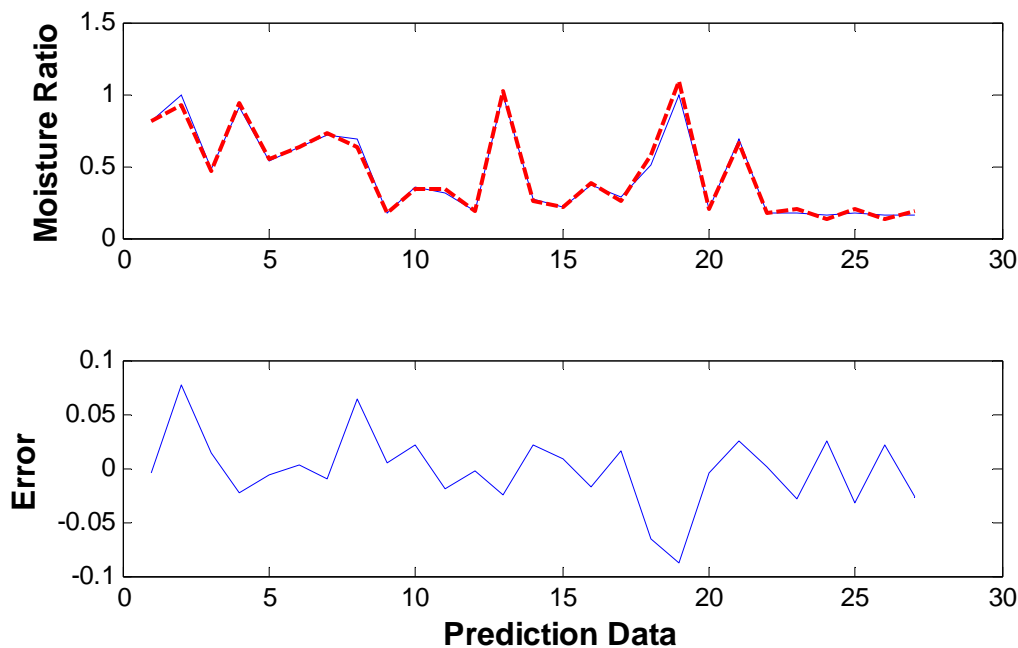
| تعداد لایه‌ها | تعداد نرون‌ها | RMS | RMSE |
|---------------|---------------|--|---|
| | | (Training) | (Prediction) |
| یک لایه | 11 | 3.22×10^{-4} | 1.14×10^{-3} |
| | 10 | 2.12×10^{-4} | 2.41×10^{-3} |
| | 12 | 1.67×10^{-4} | 2.68×10^{-3} |
| | 15 | 7.97×10^{-4} | 6.83×10^{-3} |
| دو لایه | 10 | 2.64×10^{-6} | 3.42×10^{-1} |
| | 11 | 9.90×10^{-6} | 2.64×10^{-3} |
| | 12 | 1.00×10^{-6} | 2.35×10^{-2} |
| | 12 | 6.76×10^{-15} | 1.04×10^{-2} |
| | 8 | 6.65×10^{-4} | 3.96×10^{-3} |
| | 9 | 1.50×10^{-6} | 1.55×10^{-3} |



شکل ۵- روند کاهش خطا در آموزش شبکه عصبی با یک لایه مخفی و ۱۱ نرون



شکل ۶- مقادیر واقعی و خروجی شبکه عصبی با یک لایه مخفی و ۱۱ نرون و خطای مدل سازی داده های پیش بینی



شکل ۷- مقادیر واقعی و خروجی شبکه عصبی با یک لایه مخفی و ۱۱ نرون و خطای مدل‌سازی داده‌های پیش‌بینی

یا وجود روند معنی‌داری در فرایند را نشان می‌دهد. مدل هندرسون به دلیل افزودن ضرایب k^a نسبت به مدل پیچ و در نتیجه افزوده شدن به خاصیت غیرخطی مدل نتایج بدتری گرفته است. مدل دوعبارتی توانایی پیش‌بینی بهتری نسبت به مدل‌های دیگر دارد، چون خطای داده‌های پیش‌بینی حتی از خطای آموزشی نیز کمتر شده است. Erenturk و Erenturk (۲۰۰۷) برای هویج مدل پیچ اصلاح شده را برای مدل‌سازی گزارش کرده‌اند.

مدل‌سازی شبکه عصبی

در جدول ۳ نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی پیش‌خور برای داده‌های نسبت رطوبتی گل محمدی آورده شده است. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد پیچیدگی شبکه با افزایش تعداد نرون‌ها و لایه‌ها باعث بهبود نتایج نمی‌گردد. شبکه‌های عصبی با یک لایه و دو لایه مخفی و با تعداد نرون‌های مخفی مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند. جدول ۳ نتایج بهترین مدل‌های بدست آمده را نشان می‌دهد. شبکه عصبی با یک لایه مخفی و ۱۲ نرون بهترین مدل‌سازی را انجام داده است، در حالی که شبکه

بحث

منحنی‌های رطوبتی حاصل از تیمارهای اعمال شده در شکل‌های ۲-۴ ارائه شده است. در تمامی این منحنی‌ها سرعت خشک شدن با گذشت زمان و از دست دادن رطوبت کاهش می‌یابد و این با یافته‌های (Togrul & Pehlivan, 2002) مطابقت دارد. شکل ۲ منحنی نسبت رطوبتی در سرعت 0.5 m/s را نشان می‌دهد. با افزایش دما، شیب منحنی بیشتر شده و سریعتر به رطوبت تعادلی می‌رسد. همان‌طور که مشهود است بین دمای 40°C و دمای 50°C فاصله بیشتری نسبت به دو دمای متوالی دیگر وجود دارد. این حالت برای سرعت‌های 1 m/s (شکل ۳) و 1.5 m/s (شکل ۴) بیشتر خود را نشان می‌دهد. از طرفی روند خشک شدن در سرعت‌های 1 m/s و 1.5 m/s در دماهای 50°C و 60°C درجه سانتی‌گراد تقریباً بی‌تأثیر می‌باشند. یعنی عملاً در صنعت برای خشک کردن این گیاه دارویی نباید از دمای 50°C برای سرعت‌های بیشتر از 1 m/s فراتر رفت.

همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل میدیلی در مقایسه با مدل‌های لوئیس و پیچ نتایج بهتری دارد که این می‌تواند به دلیل افزایش ضریب خطی باشد. این مسئله خطی بودن و

- امیدبگی، ر.، ۱۳۷۹. ب. رهیافت‌های تولید و فرآوری گیاهان دارویی (جلد ۳). انتشارات استان قدس رضوی، مشهد، ۳۹۷ صفحه.
- صیاد، م.، ۱۳۸۴. تأثیر دما و سرعت هوا بر خشک کردن لایه نازک سیب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- موسویان، م.ت.ح. و بصیری، ش.، ۱۳۸۷. بررسی تأثیرات درجه حرارت و سرعت جریان هوا در خشک کردن صنعتی آویشن گونه برگ باریک روی مقادیر کمی اسانس استحصالی. هجدهمین همایش ملی علوم و صنایع غذایی. خراسان رضوی، مشهد، ۲۶-۲۴ مهر: ۱۴۰.

- Ayensu, A., 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 59(4-6): 121-126.
- Banakar, A. and Azeem, M.F., 2008. Artificial Wavelet Neural Network and Its Application in Neuro-Fuzzy Models. *Applied Soft Computing*, 8(4): 1463-1485.
- Diamante, L.M. and Munro, P.A., 1993. Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, 51(4): 271-276.
- Ekechukwu, O.V., 1999. Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory. *Energy Conversion and Management*, 40(6): 593-613.
- Erenturk, M.S., Gulaboglu, S. and Gultekin, S., 2004a. The thin-layer drying characteristics of rosehip. *Biosystems Engineering*, 89(2): 159-166.
- Erenturk, K., Erenturk, S. and Tabil, L.G., 2004b. A comparative study for the estimation of dynamical drying behavior of *Echinacea angustifolia*: regression analysis and neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 45(1-3): 71-90.
- 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(3): 905-912.
- Fatouh, M., Metwally, M.N., Helali, A.B. and Shedid, M.H., 2006. Herbs drying using a heat pump dryer. *Energy Conversion and Management*, 47(15-16): 2629-2643.
- Hall, A.C., 1980. Interfacial tension and phase behavior in system of petroleum sulfonate/ brine/n-alkane. *Journal of Colloids and Surface*, 1: 209-228.
- Henderson, S.M. and Pabis, S., 1961. Grain drying theory II. temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(3): 169-174.
- Islam, M.R., Sablani, S.S. and Mujumdar, A.S., 2003. An artificial neural network model for prediction of drying rates. *Drying Technology: An International Journal*, 21(9): 1867-1884.
- Khazaei, J., Chegini, Gh.R. and Bakhshian, M., 2008. A novel alternative method for modeling the effects of air temperature and slice thickness on quality and

عصبی با یک لایه مخفی و ۱۱ نرون بهترین خطای پیش بینی را دارد. مدل‌های شبکه عصبی با دو لایه مخفی در قسمت مدل‌سازی شبکه با ۱۲ نرون در لایه اول و ۵ نرون در لایه دوم بهترین برازش را داشته‌اند؛ در حالی که شبکه با تعداد ۹ و ۴ نرون در لایه اول و دوم بهترین پیش‌بینی را داشته‌است. همچنین شبکه با یک لایه مخفی و ۱۱ نرون نسبت به بقیه مدل‌ها پیش‌بینی بهتری را انجام داده است. شکل ۵ روند آموزش شبکه عصبی با یک لایه مخفی و ۱۱ نرون را نشان می‌دهد. شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب نتایج مدل‌سازی در قسمت‌های آموزش و پیش‌بینی به وسیله شبکه بالا را نشان می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی پاسخ بهتری در مدل‌سازی و پیش‌بینی فرایند خشک شدن نسبت به مدل‌های ریاضی دارند که با نتایج تحقیقات در مورد محصولات دیگر (Erenturk & Erenturk, 2007) مطابقت دارد.

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که:

- ۱- بهترین شرایط خشک کردن گلبرگ‌های گل محمدی با دمای 50°C و سرعت هوای 1 m/s پیشنهاد می‌شود.
- ۲- با توجه به نتایج می‌توان گفت که بهتر بودن مقادیر خطای داده‌های آموزشی به معنی بهتر بودن مدل نیست؛ چون مدل‌های لگاریتمی و نیوتن که در آموزش بهتر بوده‌اند در داده‌های پیش‌بینی نتایج بهتری را نشان ندادند.
- ۳- نتایج نشان می‌دهد که از میان مدل‌های ریاضی، مدل ریاضی دو عبارتی قادر به بهترین پیش‌بینی فرایند خشک کردن گلبرگ‌های گل محمدی می‌باشد.
- ۴- شبکه عصبی با دو لایه مخفی و ۱۲ نرون بهترین نتیجه را برای داده‌های آموزشی با مقدار $10^{-15} \times 6/76$ بدست می‌دهد، در حالی که شبکه عصبی با ۱۱ نرون مخفی خطای پیش‌بینی کمتری دارد.
- ۵- با توجه به مقایسه نتایج، شبکه با یک لایه مخفی و ۱۱ نرون قابلیت پیش‌بینی بهتری را به‌عنوان شبکه عصبی پیش‌خور دارد.

منابع مورد استفاده

- امیدبگی، ر.، ۱۳۷۹. الف. رهیافت‌های تولید و فرآوری گیاهان دارویی (جلد ۱). انتشارات استان قدس رضوی، مشهد، ۲۸۳ صفحه.

- Ozdemir, M. and Devres, Y.O., 1999. The thin layer drying characteristic of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42(4): 225-233.
- Poonnoy, P., Tansakul, A. and Chinnan, M., 2006. Artificial neural network modeling for temperature and moisture content prediction in tomato slices undergoing microwave vacuum drying. *Journal of Food Science*, 72(1): 42-47.
- Togrul, I.T. and Pehlivan, D., 2002. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*, 55(3): 209-216.
- Togrul, I.T. and Pehlivan, D., 2003. Modeling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58(1): 23-32.
- Yaldiz, O., Ertekin, C. and Uzun, H.I., 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26(5): 457-465.
- drying kinetics of tomato slices: superposition technique. *Drying Technology: An International Journal*, 26(6): 759-775.
- Lasasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Idlimam, A. and Jamali, A., 2004. Thin layer convective solar drying and mathematical modeling of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). *Energy*, 29(2): 211-224.
- Martynenko, A.I. and Yang, S.X., 2006. Biologically inspired neural computation for ginseng drying rate. *Bisystems Engineering*, 95(3): 385-396.
- Midilli, A., Kucuk, H. & Yapar, Z.A., 2002. A new model for single-layer drying. *Drying Technology: An International Journal*, 20(7): 1503-1513.
- Omid, M., Baharlooie, A. and Ahmadi, H., 2009. Modeling drying kinetics of pistachio nuts with multilayer feed-forward neural network. *Drying Technology: An International Journal*, 27(10): 1069-1077.

***Rosa damascene* Mill. moisture modeling in hot air dryer using mathematic models and artificial neural network**

S.R. Karimi Akandi¹ and A. Banakar^{2*}

1- MSc. student, Mechanical Agriculture Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2*- Corresponding author, Mechanical Agriculture Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

E-mail: ah_banakar@modares.ac.ir

Received: May 2011

Revised: July 2012

Accepted: August 2012

Abstract

Damask rose with scientific name of *Rosa damascena* Mill. contains essential oils with large medicinal properties. Qualitative and quantitative extraction of essential oils as well as its economic justification depends on appropriate methods of drying. Appropriate method of drying reduces loss and damage during storage and helps maintain product quality. The purpose of this study was to predict Rose moisture content during the drying process with hot air flowing as a function of temperature at four levels (40, 50, 60 and 70°C) and air velocity at three levels (0.5, 1 and 1.5 m/s), using artificial neural networks. The average initial and final moisture contents were calculated to be 78% and 9%, respectively. The drying process was modeled by mathematical models using matlab and then the moisture content graphs were achieved by excel. Then, the drying process was modeled using neural networks with three inputs including temperature, air velocity and time. Results showed that neural network was more accurate than mathematic models in modeling and predicting the drying process of damask rose and could be used in on-line controlling.

Key words: *Rosa damascena* Mill., hot air drying, artificial neural network, thin layer dryer.