



پیش بینی محتوای رطوبتی گندم نیم جوش با استفاده از شبکه عصبی و انفیس
ابراهیم تقی نژاد^۱؛ محمد کاوه^۲

^۱ استادیار دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان؛ آدرس پست الکترونیکی: e.taghinezhad@uma.ac.ir
^۲ دانشجوی دکتری دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ آدرس پست الکترونیکی: sirwankawah@gmail.com

چکیده

در این پژوهش از دو مدل غیرخطی شامل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج فازی سازگار (ANFIS) برای ارزیابی محتوای رطوبتی گندم نیم جوش در یک خشک کن هوای داغ مورد بررسی قرار گرفت. فرآیند خشک کردن در چهار سطح دمایی (۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس)، سه سطح زمان بخاردهی (۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه) در دمای غوطه وری ۶۰ درجه سلیوس اجرا شد. دو پارامتر دما و زمان بخاردهی به همراه زمان خشک شدن به عنوان ورودی در شبکه‌های عصبی مصنوعی و انفیس برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی مورد استفاده قرار گرفت. پس از ساخت مدل‌های پیش‌بینی غیرخطی، چندین شاخص پیش‌بینی عملکرد، یعنی ضریب تبیین (همبستگی) (R^2)، شاخص میانگین مربعات خطا (MSE)، درصد میانگین خطای نسبی (\mathcal{E}) برای انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی و ارزیابی مورد بررسی قرار گرفت. افزایش دمای هوای ورودی باعث کاهش زمان خشک شدن می‌شوند. نتایج نشان داد که مدل ANFIS با توجه به شاخص‌های R^2 ، MSE و \mathcal{E} بهترین مدل برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی بود. مقادیر MSE برای مدل‌های ANN و ANFIS به ترتیب ۰/۰۰۲۱ و ۰/۰۰۱۲ به دست آمد. که این نتایج نشان‌دهنده ظرفیت عملکرد بالای مدل ANFIS برای ارزیابی محتوای رطوبت در مقایسه با شبکه‌های عصبی مصنوعی در این پژوهش می‌باشد. کلمات کلیدی: خشک کن هوای داغ، گندم نیم جوش، محتوای رطوبت، شبکه‌های عصبی مصنوعی، و انفیس



Prediction of the moisture content of parboiled wheat Using Neural Network and ANFIS

Ebrahim Taghinezhad^{1*}; Mohammad Kaveh²

¹: Professor Assistant, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

²: PhD Student, College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

* Corresponding Author

ABSTRACT

This research presents two non-linear models including artificial neural network (ANN), fuzzy system and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) to estimate moisture ratio of parboiled rice in an infrared - hot air dryer. Drying process was accomplished in four temperature levels (40, 50, 60 and 70 °C) and Three levels of steaming time (5, 10 and 15 minutes) at 60 °C temperature soaking. That the two parameters along with drying time were utilized as input in predicting the moisture ratio in artificial neural network and ANFIS. After constructing the non-linear models, several performance prediction indices, i.e. coefficient of determination (R^2), mean square error (MSE), average relative error (ε), and total ranking method are examined to choose the best predictive models and evaluation of the obtained results. It is obtained that the ANFIS model is superior to other utilized techniques in terms of R^2 , MSE and ε . MSE values of 0.0021 and 0.0012 were obtained for testing datasets of ANN and ANFIS models, respectively, which indicate higher performance capacity of the ANFIS technique to estimate moisture ratio compared to other implemented methods.

Keywords: Hot air dryer, semi-boiling wheat, Moisture content, Artificial neural networks, and ANFIS

۱- مقدمه

گندم نیم جوش یک دانه گندم فرآوری شده است. که این نوع گندم یک محصول مغذی، کم چرب و محتوای پروتئین بالا با عمر طولانی مدت است. به طور کلی انواع گندم سخت (بیشتر *Triticum durum*) برای تولید گندم نیم جوش استفاده می شود. این نوع گندم در ایران و اکثر کشورهای جهان تولید و مصرف می شود. ترکیه به عنوان بزرگترین کشور تولید کننده گندم نیم جوش در جهان است که تولید سالانه آن بیش از ۱ میلیون تن می باشد. (Kahyaoglu et al., 2012). مصرف سالیانه گندم بلغور در ترکیه حدوداً است ۱۲ کیلوگرم برای هر فرد است. در سوریه، عراق، ایران، لبنان و عربستان بسیار زیاد است (۲۵-۳۵ کیلوگرم در هر فرد).

نیم جوش کردن فرآیندی است هیدروترمالی که قبل از عملیات تبدیل بر گندم اعمال می شود و شامل سه مرحله غوطه وری، بخاردهی و خشک کردن است. برای حل مشکل شکستگی گندم، نیم جوش کردن روشی است مفید، کاربردی و مطمئن که تأثیر بسزایی در خودکفایی گندم دارد (Taghinezhad et al., 2015).

خشک کردن روشی کاملاً پیچیده و نامطمئن است و برای آن‌ها خواص زمان و فاکتورهای ناشناخته‌ای وجود دارد. این پدیده با سطوح مختلف پیچیدگی مدل سازی شده است. پیش بینی سینتیک خشک کردن محصولات کشاورزی در شرایط مختلف برای طراحی تجهیزات و فرآیند، کنترل کیفیت، مدیریت انرژی و سوخت، انتخاب ذخیره سازی مناسب بسیار مهم و اساسی است. در شرایطی که روابط بین پارامترهای مستقل و وابسته پیچیده باشد، روش های مدل سازی ریاضی، با محدودیت هایی از جمله انتخاب پارامترها، اعمال پیش فرض ها برای حل معادلات و پیچیدگی حل معادلات روبرو خواهد شد. بنابراین بهترین انتخاب استفاده از روش های بهینه سازی هوشمند است (Rodríguez et al., 2014). از جمله از این روش ها می توان شبکه های عصبی مصنوعی (ANNs) و سیستم استنتاج فازی- عصبی (ANFIS) را نام برد که امکان پیش بینی کافی و دقیق فرآیند خشک کردن در کاربردهای صنعتی را فراهم می کند.



بسیاری از نویسندگان با موفقیت از ANN و ANFIS برای توصیف ویژگی‌های خشک کردن بسیاری از محصولات کشاورزی و مواد غذایی استفاده کردند. کاوه و امیری چایجان (۲۰۱۷)، نسبت رطوبت شلغم را در طی خشک کردن با خشک‌کن پیوسته توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند که بهترین نتایج آن برای پیش‌بینی نسبت رطوبت R^2 ، MSE به ترتیب ۰/۹۹۹۰ و ۰/۰۰۷۷ به دست آوردند (Kaveh and Amiri Chayjan, 2017). طی تحقیقی، محتوای رطوبتی میوه به طی فرآیند خشک کردن با استفاده از مادون قرمز توسط ANFIS پیش‌بینی شد (Ziaforoughi et al., 2016).

با توجه به ضرورت‌های بیان شده هدف از این پژوهش، تعیین و پیش‌بینی محتوای رطوبتی گندم نیم جوش پس از خشک کردن با خشک‌کن هوای داغ با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و انفیس و همچنین مقایسه این روش‌ها با همدیگر می‌باشد.

۲- بخش مواد و روش‌ها

برای اجرای تحقیق، گندم از سوپر مارکتی در شهر مغان تهیه گردید. میانگین مقدار رطوبت اولیه گندم ۰/۶۶ درصد (بر پایه خشک) بود. برای تعیین میزان رطوبت گندم، نمونه‌های ۱۰ گرمی در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت در آن قرار داده شد. میزان رطوبت نمونه‌های گندم از رابطه (۱) به دست آمد (Kaveh et al., 2017):

$$M.C. = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

که در آن: M.C. = درصد رطوبت نمونه‌ها بر پایه تر (w.b./t)، m_1 = جرم اولیه نمونه (kg)، و m_2 = جرم نهایی نمونه (kg) است. برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتالی AND GF-600 ساخت کشور ژاپن با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. همچنین از اجاق آزمایشگاهی Memert مدل D06836 ساخت کشور آلمان با دقت ۱ درجه سلسیوس استفاده شد.

غوطه‌وری گندم

برای غوطه‌وری گندم از دستگاهی استفاده شد که تقی نژاد و همکاران (Taghinezhad et al., 2015) آن را ساخته بودند. این دستگاه شامل مخزن و سامان کنترل دماست. طی خیساندن گندم، از سامانه کنترل دمای آب برای ثابت نگه داشتن دمای آب استفاده شد. این سامانه از یک حسگر دمای روکش دار LM35D (روکش استیل با قطر ۶ mm)، سامانه کنترلی نوع تئاسی، پمپ آب، دمنده، گرم‌کن و مخزن تشکیل شده است. پمپ آب (GC 100, General, Thailand) برای یکنواخت کردن دمای آب درون مخزن و دمنده برای خنک کاری پمپ آب به کار برده می‌شد. یک محفظه توری (نمونه‌گیر) برای شناور کردن گندم در مخزن به کار گرفته شد. نمونه‌ها درون نمونه‌گیر قرار داده شد و دمای آب درون مخزن در تمام مدت زمان خیساندن با دقت ± 0.5 درجه سلسیوس ثابت بود. به‌طور معمول دمای غوطه‌وری ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس انتخاب می‌شود. بنابراین در این تحقیق، غوطه‌وری در دمای ۶۰ درجه سلسیوس تا رسیدن رطوبت گندم به ۱۵ درصد بر پایه خشک صورت گرفت. بعد از اتمام غوطه‌وری، فرآیند بخاردهی در دمای ۹۶ درجه سلسیوس در ۳ سطح زمانی ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه (هر ۵ دقیقه) اجرا شد. گندم سرانجام در شرایط محیطی دمای 27 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 50 ± 20 درصد تا رسیدن رطوبت آن به ۱۱ درصد بر پایه خشک، خشک شد.

شبکه عصبی مصنوعی

یک شبکه‌ی پرسپترون دو و سه لایه با توابع فعال‌سازی مختلف برای تعیین ساختار مطلوب مورد آزمایش قرار گرفت. به‌منظور پردازش داده‌های مورد آزمایش از دو شبکه پس انتشار پیش‌خور (Feed Forward Back Propagation (FFBP)) و پس انتشار پیش‌رو (Cascad Forward Back Propagation (CFBP)) استفاده گردید. همچنین از توابع آموزش لونیبرگ-مارکوارت (Levenberg-Marquardt (LM)) و تنظیم بیزی (Bayesian Regulation (BR)) برای بهنگام سازی وزن‌های شبکه‌های مورد نظر بکار گرفته شد.

طی فرآیند آموزش، شبکه‌های عصبی مصنوعی به کمک داده‌های آموزشی، ارتباط بین نرون‌ها را در هر چرخه‌ی آموزش فرا گرفته تا این مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر خروجی مطلوب نزدیک شوند و مقادیر خطای حاصل از مقادیر خطای مشخص شده کمتر گردد. طی فرآیند آموزش شبکه، پارامترهای ترکیبی مانند تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌ها، تعداد چرخه آموزش به روش آزمون و خطا تعیین گردید. طی فرآیند آموزش این وزن‌ها و مقادیر ثابتی که با آن‌ها جمع می‌شود اصطلاحاً بایاس نامیده می‌شوند، به‌طور پی‌درپی تغییر می‌کند تا خطا به کمترین مقدار خود برسد. پس از محاسبه هر X_j ، شبکه تحت یک تابع فعال‌سازی شروع به اصلاح آن می‌کند. برای بهینه‌سازی ساختار شبکه از سه تابع فعال‌سازی



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



BuAli Sina University

تابع سیگموئید لگاریتمی (LOGSIG)، تابع خطی (PURLIN) و تانژانت هایپربولیک سیگموئید (TANSIG) استفاده شد (Kaveh *et al.*, 2017).

با ترکیب سیستم استنتاج فازی و الگوریتم‌های یادگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم انفیس قادر به مدل‌سازی و تحلیل رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی به‌طور مؤثر از مجموعه داده‌های داده‌شده می‌باشد. رابطه بین ورودی‌ها و خروجی با استفاده از هر دو داده ورودی - خروجی و قوانین فازی اگر - سپس ساخته شد. انفیس یک فن عصبی - فازی است که در آن از ادغام بین شبکه عصبی و سیستم استنتاج فازی (FIS) ساخته شده است (Motahari-Nezhad and Mazidi, 2016).

به‌طور کلی، با استفاده از مدل انفیس با سه ورودی (T , D و DT) و یک خروجی (f)، به‌عنوان مثال، قوانین فازی اگر - سپس می‌تواند در فرم‌های زیر بیان شود (Malekjani *et al.*, 2013).

$$\text{Rule 1: if } T \text{ is } A_1, D \text{ is } B_1, \text{ and } DT \text{ is } C_1 \text{ then } f_1 = p_1T + q_1D + s_1DT + u_1$$

$$\text{Rule 1: if } T \text{ is } A_2, D \text{ is } B_2, \text{ and } DT \text{ is } C_2 \text{ then } f_2 = p_2T + q_2D + s_2DT + u_2 \quad (3)$$

که در آن T دمای هوای ورودی (درجه سلسیوس)، D طمان بخار دهی (دقیقه)، DT زمان خشک شدن (دقیقه)، f محتوای رطوبت (بر پایه خشک)، $A_1, C_1, B_1, A_2, C_2, B_2$ ، نشان‌دهنده زبانی، $p_1, q_1, s_1, u_1, p_2, q_2, s_2, u_2$ ضرایب خطی تابع خروجی، f_1 و f_2 چندجمله‌ای درجه اول هستند لایه اول (fuzzification): متغیرهای ورودی را به یک مجموعه فازی از طریق توابع عضو تبدیل می‌کند. هر گره در لایه ۱ یک گره تطبیقی است و تابع گره مربوطه به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$O^1_{Ai} = \mu_{Ai}(T) \quad i = 1, 2 \quad (4)$$

$$O^1_{Bj} = \mu_{Bj}(D) \quad j = 1, 2 \quad (5)$$

$$O^1_{Ci} = \mu_{Ci}(DT) \quad i = 1, 2 \quad (6)$$

که در آن، μ_{Ai} ، μ_{Bj} ، μ_{Ci} و توابع عضویت از متغیرهای زبانی A ، B و C هستند. لایه دوم (Multiplication): هر قانون یک گره در ANFIS با استفاده از soft-min یا محصول برای تعیین عامل مقید کردن قانون است. سیگنال ورودی در معادله (۶) در این لایه ضرب می‌شود و محصول را خارج می‌کند.

$$O^2_i = w_i = \mu_{Ai}(T) \times \mu_{Bj}(D) \times \mu_{Ci}(DT), \dots, i = 1, 2 \quad (7)$$

لایه سوم (Normalization): هر کدام از w_i مقیاس کوچکی از w_i در این لایه هستند. نسبت i^{th} قوانین وزنی حاکم بر مجموع نیروی هر قاعده می‌تواند به صورت معادله (۷) محاسبه کرد:

$$O^3_i = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad i = 1, 2 \quad (8)$$

که در آن \bar{w} میزان نرمال شدن می‌باشد.

لایه چهارم (Defuzzification): هر کدام از w_i مقادیر مربوط به نتیجه رگرسیون خطی f_i در این لایه تابع می‌باشد و در نهایت نتیجه خروجی در معادله (۸) تولید می‌شود:

$$O^4_i = w_i f_i = w_i(p_iT + q_iD + s_iDT + u_i) \quad i = 1, 2 \quad (9)$$



لایه پنجم (Summation): هر قانون خروجی به لایه خروجی افزوده می‌شود. خروجی کل را می‌توان در معادله (۹) به شرح زیر محاسبه کرد

$$O^5_i = \sum_i w_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad i = 1, 2 \quad (9)$$

در این مقاله، دو مدل ANN و سیستم استنتاج فازی (ANFIS) با استفاده از ۲۸۳ مجموعه داده برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی استفاده شد. به منظور مدل‌سازی شبکه، داده‌ها به صورت تصادفی به دو گروه که ۷۰٪ (۱۹۸ داده) آن برای آموزش و ۳۰٪ (۸۵ داده) آن برای ارزیابی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای ورودی و خروجی و همچنین محدوده آن‌ها برای هر دو مدل در جدول ۱ نشان داده شده است. بنابراین هر دو روش ANN و ANFIS با سه نورون در لایه ورودی (دمای هوا ورودی، زمان بخار دهی و زمان خشک کردن) و یک نورون در لایه خروجی (محتوای رطوبتی) مورد بررسی قرار گرفت. از نرم‌افزار Neural Network Toolbox MATLAB (ver4.01) نیز برای انجام تحلیل‌ها برای طراحی و ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی و ANFIS برای پیش‌بینی محتوای رطوبت گندم نیم جوش استفاده شد

جدول ۱- پارامترهای ورودی برای Fuzzy, ANN و ANFIS برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی گندم نیم جوش

پارامتر	نشا	واحد	دسته‌بندی	Min	Max
ن					
دمای هوای ورودی	T	درجه سلسیوس	ورودی	۴۰	۷۰
زمان بخار دهی	D	دقیقه	ورودی	۵	۱۵
زمان خشک کردن	DT	دقیقه	ورودی	۰	۲۹۰
محتوای رطوبتی	MC	-	خروجی	۰/۱۵	۰/۶۶

شاخص‌های کمی بسیاری جهت ارزیابی کارکرد شبکه‌های مورد استفاده و قدرت مدل برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی گندم نیم جوش مورد استفاده قرار گرفت. معیارهای از جمله ضریب تبیین (همبستگی) (R^2)، شاخص میانگین مربعات در این روابط T_p و T_i مقدار اندازه‌گیری (واقعی) و خروجی، T_{mean} میانگین مقادیر پیش‌بینی شده، N تعداد کل داده‌ها می‌باشد. خطا (MSE)، میانگین خطای نسبی (ε) برای تعیین کیفیت عملکرد شبکه در این پژوهش استفاده شد (Hasanipanah, Amnieh, et al., 2016):

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (T_i - T_{mean})^2 \right] - \left[\sum_{i=1}^N (T_i - T_p) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N (T_i - T_{mean})^2 \right]} \quad (10)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i - T_p)^2 \quad (11)$$

$$\varepsilon = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N (T_i - T_p) \quad (12)$$

۳- نتایج و بحث

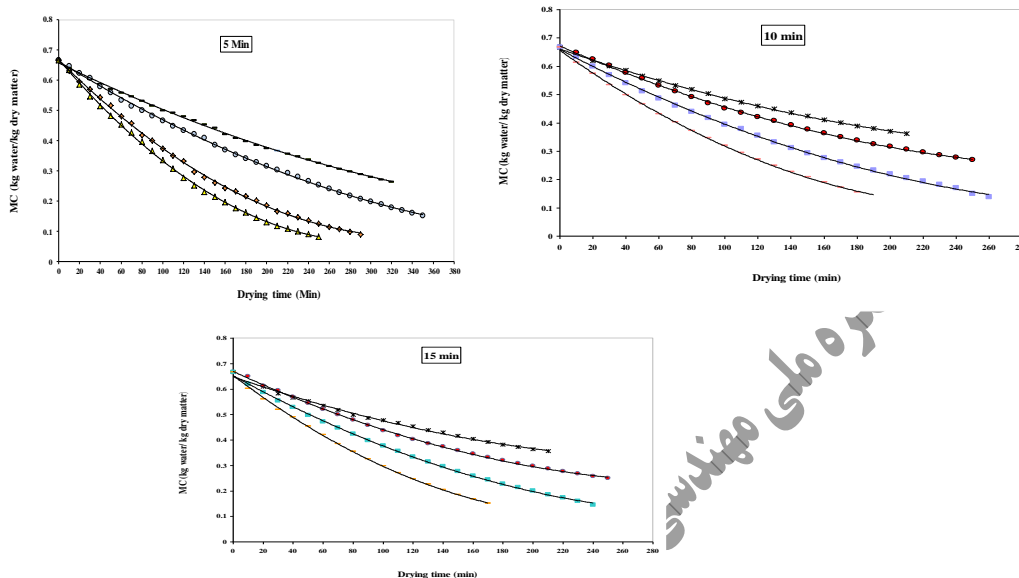
شکل (۱) نمودار مربوط به محتوای رطوبتی و زمان خشک کردن گندم نیم جوش می‌باشد. با توجه به شکل (۱)، نتایج نشان داد که با افزایش دمای هوای ورودی، چون محصول مدت بیشتری در مقابل حرارت قرار دارد لذا سرعت خروج رطوبت از گندم سریع‌تر شده و زمان خشک شدن کاهش یافت. بر این اساس کمترین و بیشترین زمان خشک شدن به ترتیب در زمان بخار دهی ۵ و ۱۵ دقیقه به دست آمد. زیرا با افزایش زمان بخاردهی، دمای درون محفظه اثر بیشتری روی محصول داشته و مدت زمان بیشتری محصول در مقابل حرارت قرار می‌گیرد که باعث کاهش بیشتر میزان رطوبت نمونه‌ها خواهد شد. به عبارت دیگر زمان بخار دهی بالاتر، موجب انتقال جرم و حرارت بیشتر و کاهش رطوبت شدیدتر می‌گردد. همچنین با افزایش دمای ورودی، زمان خشک کردن محصولات کاهش یافت به گونه‌ای که طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین زمان فرآیند به ترتیب مربوط به



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



خشک کردن با دمای ۴۰ و ۷۰ درجه سلسیوس بود. پایین حال میزان کاهش رطوبت، با افزایش انرژی جنبشی مولکول‌ها و انتقال جرم، افزایش یافت. نتایج مشابهی در خشک کردن هویج (Aghbashlo *et al.*, 2011)، سویا (Khoshtaghaza *et al.*, 2015) و گوجه‌فرنگی (Bennamoun *et al.*, 2015) گزارش شده است.



شکل ۱- اثر دمای هوا بر محتوای رطوبتی گندم نیم جوش در زمان‌های مختلف بخار دهی

شبکه‌های عصبی مصنوعی

جدول (۲) لیست از بهترین شبکه‌های عصبی با توپولوژی، توابع آستانه، و الگوریتم‌های مختلف کاربردی برای پیش‌بینی محتوای رطوبت گندم نیم جوش در خشک کن هوای داغ را نشان می‌دهد. در میان توپولوژی‌های مختلف ارائه شده در جدول (۳)، بهترین نتایج را برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی گندم نیم جوش با توپولوژی ۱-۱۰-۱-۳ و تابع آستانه TANSIG - LOGSIG - TANSIG متعلق با الگوریتم LM می‌باشد که در این ساختار تولید مقادیر خطای MSE ، ϵ و R^2 به ترتیب ۰/۰۰۵۹، ۲/۸۸، ۰/۹۹۹۱ به دست آمد. پژوهش‌های قبلی در مورد خصوصیات خشک کردن محصولات دیگر مانند بادمجان (Amiri Chayjan *et al.*, 2017) و زنجبیل (Murthy and Manohar, 2014) نیز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی بیانگر این موضوع می‌باشند.

جدول ۲- نتایج آرایش‌های مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد محتوای رطوبت

چرخه	ϵ	R^2	MSE	تعداد لایه و نرون	توابع آستانه	الگوریتم آموزش	شبکه
۱۲۵	۲/۷۶	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۲۱	۳-۱۰-۱۰-۱	TAN-LOG-TAN	LM	FFBP
۶۸	۳/۹۰	۰/۹۹۷۵	۰/۰۰۶۹	۳-۱۲-۱۲-۱	PUR-TAN-LOG	BR	FFBP
۹۵	۳/۶۱	۰/۹۹۷۷	۰/۰۰۶۴	۳-۱۵-۱۰-۱	TAN-TAN-PUR	LM	CFBP
۱۶۵	۳/۲۱	۰/۹۹۸۴	۰/۰۰۴۸	۳-۹-۱	TAN-PUR-TAN	BR	CFBP

انفیس

در این مقاله نتایج یک مطالعه تجربی و کاربرد ANFIS برای پیش‌بینی محتوای رطوبت استفاده شد. اطلاعات مربوط به بهترین الگوریتم‌ها و نتایج برای ANFIS در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- اطلاعاتی در مورد بهترین مدل برای محتوای رطوبتی شلغم در ANFIS



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



BuAli Sina University

MC	Characteristics
Sugeno-type	ساختار فازی
Genfis1	FIS اولیه برای آموزش
۳-۳-۳	تعداد توابع عضویت برای هر ورودی
Gaussian (gaussmf)	نوع تابع عضویت برای هر ورودی
۱۲۰۰	چرخه
Linear	نوع تابع عضویت برای هر خروجی
Hybrid	الگوریتم آموزش
۳	تعداد ورودی
۲۷	تعداد توابع عضویت خروجی
۱۹۸	تعداد داده‌ها برای آموزش
۸۵	تعداد داده‌ها برای ارزیابی
۲۷	تعداد قوانین فازی

در تجزیه و تحلیل ANFIS، مانند سایر مدل‌های مورد استفاده، بهترین معماری باید طراحی شود. برای دستیابی به این هدف، مدل‌های مختلف ANFIS با استفاده از روش آزمون و خطا طراحی شده‌اند تا تعداد قوانین فازی در پیش‌بینی خروجی تعیین شود. این مدل از هشت نوع تابع عضویت، psigmf ، dsigmf ، pimf ، Gauss2mf ، Gaussmf ، gbellmf ، trimf و trapmf استفاده کرد. تعداد قوانین تابع عضویت‌ها از ۳ تا ۵ متغیر بود. تابع عضویت گاوسی به‌عنوان یک تابع عضویت به‌طور گسترده در مدل‌سازی ANFIS مورد استفاده قرار گرفت. مشاهده شد که نوع گاوسی (gaussmf) که با توجه به مقادیر MSE و R^2 نسبت به انواع تابع عضویت‌ها بسیار مناسب است. در نهایت، ۳ قوانین فازی برای هر ورودی از تعداد دیگری از قوانین فازی فراتر رفته است. بنابراین، تعدادی از ۲۷ قوانین فازی (۳ × ۳ × ۳) بهترین عملکرد و برآورد را برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی گندم نیم جوش در خشک‌کن هوای داغ را نشان داد (جدول ۳). نتایج ANFIS در جدول (۴) خلاصه شده است. این جدول نشان می‌دهد که حداقل (MSE) و بالاترین ارزش (R^2) توسط الگوریتم ANFIS ارائه شده است. این ANFIS قادر به پیش‌بینی محتوای رطوبت، با ضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۹۹۹۶ بود. همچنین، مقدار MSE برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی ۰/۰۰۱۲ به دست آمد. نتایج پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر واقعی، و برای تابع عضویت Gaussian (gaussmf) در شکل ۳ نشان داده شده است. ضیافروغی و همکاران (۲۰۱۶)، برای پیش‌بینی نسبت رطوبت میوه به با استفاده از خشک‌کن مادون قرمز از مدل انفیس استفاده کرده‌اند (Ziaforoughi et al., 2016). آنها مقادیر $RMSE = 0/041$ و R^2 به دست آوردند

جدول ۴- نتایج آرایش‌های مختلف ANFIS در برآورد محتوای رطوبت

\mathcal{E}	R^2	MSE	تعداد توابع عضویت	نوع تابع عضویت برای هر ورودی
۲/۱۰	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۱۲	۳-۳-۳	gaussmf
۲/۴۶	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۱۸	۳-۳-۳	trimf
۲/۹۹	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۳۴	۳-۵-۳	trapmf

مقایسه شبکه‌های عصبی مصنوعی و ANFIS

در این مطالعه تلاش شده است تا قابلیت مدل‌های ANN و ANFIS را برای پیش‌بینی محتوای رطوبت گندم نیم جوش را نشان دهد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد از معادلات توسعه یافته، سه توابع آماری، به‌عنوان مثال، میانگین مربع خطا (MSE)، درصد میانگین خطای نسبی (\mathcal{E}) و ضریب تبیین (R^2)، استفاده شد. جدول (۵) مقادیر مدل‌های ANN و ANFIS را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول (۵) دقت مدل ANFIS در این تحقیق بیشتر از ANN است. خوشنویسان و همکاران (۲۰۱۴) در کاربرد مقایسه ای بین شبکه‌های عصبی مصنوعی و انفیس برای عملکرد سیب زمینی بر اساس میزان انرژی مصرفی گزارش داده‌اند که مدل انفیس عملکرد بهتری برای پیش‌بینی عملکرد سیب زمینی دارد (Khoshnevisan et al., 2014).



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



جدول ۵- مقایسه پیش‌بینی رفتار خشک‌کردن گندم نیم جوش در یک خشک‌کن هوای داغ با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج فازی سازگار (ANFIS)

	MR	
	ANN	ANFIS
MSE	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۲
ε	۲/۷۶	۲/۱۰
R^2	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۶

۴- نتیجه‌گیری

مجموعه داده‌ها در چهار سطح دمایی (۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس)، سه سطح بخار دهی (۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه) و دمای غوطه‌وری ۶۰ درجه سلیوس برای خشک کردن گندم نیم جوش در یک خشک‌کن هوای داغ به دست آمدند. با افزایش دمای هوای ورودی از ۴۰ به ۷۰ درجه سلسیوس زمان خشک کردن کاهش پیدا کرد. بر اساس مجموعه داده‌ها، چندین مدل پیش‌بینی غیرخطی (ANN و ANFIS) برای تخمین محتوای رطوبت گندم نیم جوش طراحی شد. طراحی هر دو مدل با یک متغیر خروجی (محتوای رطوبت) و سه متغیر ورودی (دمای هوای ورودی، زمان بخار دهی و زمان خشک کردن) انجام شد. برای انتخاب بهترین مدل برای پیش‌بینی دقیق برای برآورد محتوای رطوبت، مدل‌های توسعه‌یافته با همدیگر مقایسه شدند. برای انتخاب بهترین مدل، ضریب تبیین به دست آمده و مجموع رتبه‌بندی برای هر مدل محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مجموعه داده‌های آزمایشی، پیش‌بینی عملکرد مدل ANFIS ($R^2 = 0/9996$) بالاتر از مدل ANN ($R^2 = 0/9992$) بدست آمد. بنابراین مدل ANFIS در مقایسه با شبکه‌های عصبی مصنوعی با توجه به روش رتبه‌بندی، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی محتوای رطوبت گندم نیم جوش داشت.

۵- مراجع

- Kahyaoglu, L.N., Sahin, S., Sumnu, G. (2012). Spouted bed and microwave-assisted spouted bed drying of parboiled wheat. *food and bioproducts processing* 90 (2012) 301-308.
- Kaveh M, Amiri Chayjan R (2017) Modeling thin-layer drying of turnip slices under semi-industrial continuous band dryer. *J Food Proces Preserv* 41(2): e12778.
- Kaveh, M., Amiri Chayjan, R. and Nikbakht, A.M. 2017. Mass transfer characteristics of eggplant slices during length of continuous band dryer. *Heat and Mass Transfer*, 53(6): 2045-2059
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Iqbal J., Shamshirband Sh., Omid M., Badrul Anuar N. and W., A.W.A. 2015. A comparative study between artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference systems for modeling energy consumption in greenhouse tomato production: A case study in isfahan province. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 17: 49-62
- Malekjani, N., Jafari Seid, M., Rahmati Mohammad, H., Zadeh Ebrahim, E. and Mirzaee, H. 2013. Evaluation of thin-layer drying models and artificial neural networks for describing drying kinetics of canola seed in a heat pump assisted fluidized bed dryer *International Journal of Food Engineering* 9(4): 375-384.
- Motahari-Nezhad, M. and Mazidi, M.S. 2016. An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) model for prediction of thermal contact conductance between exhaust valve and its seat. *Applied Thermal Engineering*, 105: 613-621.
- Murthy, T.P.K. and Manohar, B. 2014. Hot air drying characteristics of mango ginger: Prediction of drying kinetics by mathematical modeling and artificial neural network. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12): 3712-3721.
- Rodríguez J., Clemente, G., Sanjuán, N. and Bon, J. 2014. Modelling drying kinetics of thyme (*Thymus*



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



vulgaris L.): Theoretical and empirical models, and neural networks. Food Science and Technology International, 20(1): 13-22.

Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M. H., Minaei, S. and Latifi, A. 2015. Effect of soaking temperature and steaming time on the quality of parboiled Iranian paddy rice. International journal of food engineering, 11: 547-556

Ziaforoughi, A., Yousefi, A.R. and Razavi, S.M.A. 2016. A Comparative modeling study of quince infrared drying and evaluation of quality parameters. Int. J. Food Eng., 12(9): 890-901

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران