



## بررسی اثر سرعت و دمای هوای ورودی در خشک‌کن بستر سیال بر زمان خشک‌شدن تخم کدو

فائزه حسینیان امیری<sup>۱</sup>، محمدهاشم رحمتی<sup>۲</sup>، محسن آزادبخت<sup>۳</sup>

۱ دانشجوی ارشد مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان: faezehhosseinian001@gmail.com

۲ دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان: hmrahmati20@gmail.com

۳ دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان: azadbakht39@gmail.com

### چکیده

در این تحقیق به بررسی اثر سرعت و دمای هوای ورودی خشک‌کن بستر سیال بر زمان خشک‌شدن تخم کدو پرداخته شده است. نمونه‌های تخم کدو در سه سرعت هوای ورودی ۳، ۵ و ۷ متر بر ثانیه و در سه دمای هوای ورودی ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد به وسیله خشک‌کن بستر سیال خشک شدند. همچنین برای پیش‌بینی و ارزشیابی داده‌ها از شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان داد که کمترین زمان خشک‌شدن دانه‌ها در سرعت ۷ متر بر ثانیه و دمای هوای ورودی ۵۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. همچنین نتایج حاصل از تحلیل شبکه عصبی میزان  $R^2$  را برای زمان خشک‌شدن تخم کدو ۰/۸۶۴۷۵۰۳۰۵ به دست آورد که این مقدار در شبکه‌ای با ۷ نرون در لایه پنهان بوده است. برای دمای هوای ورودی بیشترین ضریب حساسیت در تعداد ۷ نرون در لایه پنهان برای آموزش مشاهده شد. برای سرعت هوای ورودی نیز بیشترین میزان ضریب حساسیت در آموزش برای شبکه‌ای با تعداد ۳ نرون در لایه پنهان بوده است. در کل شبکه‌ی استفاده از این نوع شبکه عصبی توانایی مناسب و مطلوبی را برای پیش‌بینی و ارزشیابی زمان خشک‌شدن تخم کدو نشان داده است.

کلمات کلیدی: تخم کدو، شبکه عصبی، زمان خشک‌شدن، سرعت هوای ورودی، دمای هوای ورودی

## Investigation the velocity and temperature of air in the fluidized bed dryer on the drying time of pumpkin seeds

Faezeh hosseinian Amiri<sup>1</sup>, Mohammad hashem rahmati<sup>2</sup>, mohsen azadbakht<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Master student of Biochemistry Mechanics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

<sup>2</sup> (Associate Professor) Department of Biological-Mechanics Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

<sup>3</sup> (Associate Professor) Department of Biological Mechanics Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

### Abstract

In this research, the effect of velocity and temperature of air entering the fluid bed dryer on the drying time of pumpkin seeds has been investigated. The Samples of pumpkin seed in three speeds 3,5 and 7 m/s and in three air temperatures 45, 55 and 65 ° C were dried by the fluidized bed dryer. Also, prediction and evaluation of the obtained data were performed by artificial neural network. The results indicated that the lowest dry time of seeds was at 7 m / s and the air temperature was 55 ° C. Also, the results of the analysis of the neural network generated the  $R^2$  value for the drying time of pumpkin seeds 0.864750305 which is hidden in a network with 7 neurons in the layer. For the input air temperature, the highest sensitivity coefficient in the number of 7 neurons in the hidden layer is observed for education. For input air velocity, the highest susceptibility test was hidden for a network with 3 neurons in the layer. In general, the use of this kind of neural network has been shown to be suitable for predicting and evaluating the drying time of pumpkin seeds.

**Keywords:** pumpkin seeds, neural network, drying time, inlet air velocity, inlet air temperature

### ۱- مقدمه

خشک‌کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌ها برای حفظ محصولات کشاورزی و غذایی بوده است و در گذشته با استفاده از آفتاب و با نیروی کار دستی اتفاق می‌افتاد و معایبی چون غیر قابل پیش‌بینی بودن آب و هوا، تلفات زیاد محصولات و همچنین آلودگی‌های آن را در پی داشت باید خشک کردن را با استفاده از روش‌ها و مکانیزم‌های جدید انجام داد که منجر به کاهش مصرف انرژی و تلفات در خشک‌کردن شود (Azadbakht et al., 2017).



## یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



البته یکی از اساسی‌ترین اهداف خشک کردن محصولات کشاورزی، انتقال آب در بافت جامد به طرف سطح رویه محصول تا یک سطح (تراز) خاص بوده به طوری که ضایعات میکروبی و روال فعل و انفعالات شیمیایی به طور اساسی به حداقل مقدار ممکن برسد (Azadbakht et al, 2017). همچنین خشک کردن به حذف آب یا رطوبت از مواد جامد گفته می‌شود که بخش مهمی از فرآیند نگهداری در صنایع غذایی به شمار می‌آید. در تئوری خشک کردن، انتقال رطوبت در مواد در طی دو مرحله اتفاق می‌افتد. در مرحله اول، انتقال رطوبت داخلی (رطوبت از داخل به سطح جسم حرکت می‌کند) و در مرحله دوم انتقال رطوبت سطحی (تبخیر رطوبت از سطح به هوای اطراف) وجود دارد و با توجه به تحقیقاتی که در مورد خشک کردن‌های مختلف، در دماهای گوناگون توسط سایر محققین انجام گرفته است، ملاحظه شده که سرعت و دمای خشک شدن، اثر قابل توجهی بر بافت غذاها دارد (Azadbakht et al, 2018). خشک کردن به روش بستر شناور در بین سایر روش‌های خشک کردن، مزایای بسیاری را به همراه دارد که شامل شدت بالای خشک شدن، بازده گرمایی بالا، یکنواختی در خشک شدن، کنترل دقیق دما در بستر و همچنین زمان کوتاه خشک شدن به دلیل نرخ بالای انتقال حرارت و جرم می‌باشند (Azadbakht et al, 2017). دانه کدو تنبل (*Cucurbita pepo convar. pepo var. styriaca* Greb) حاوی منابع غنی آنتی اکسیدان‌ها و سایر مواد شیمیایی کمیاب است که به طور عمده برای مصرف روزانه در غذا و برای دانه آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. دانه کدو شامل مواد اولیه تولید شده برای تولید محصولات دارویی *pepostrin*, *peponen* و *gronfing* برای غلبه بر بزرگ شدن پروستات و تحریک دستگاه ادراری می‌باشد (Olfati et al, 2015). دانه کدو تنبل یک منبع غنی از اسیدهای چرب و پروتئین است. گزارش‌هایی وجود دارد که دانه کدو مخلوط زیادی از اسید آمینه ضروری است، بنابراین آن را پتانسیل بالایی برای استفاده در سیستم‌های غذایی، نه تنها به عنوان یک مکمل غذایی، بلکه به عنوان یک عامل کاربردی استفاده می‌شود (Hernandez-Santos et al, 2016). همچنین با توجه به اینکه در درون دانه‌های تخم کدو رطوبت وجود دارد که این امر باعث افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و میکروکروب‌ها شده که باعث می‌شود عمر تخم کدو کاهش بیابد.

همچنین محققین مختلفی بر روی خشک کردن محصولات با خشک کن بستریال گزارش کردند :

آغاباشلو و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند که بازده انرژی و اکسرژی در طول فرآیند خشک کردن روغن ماهی به ترتیب بین ۸۵٫۵۴٪ - ۷۴٫۴۸٪ و ۷٫۴۲٪ - ۵٫۲۵٪ به ترتیب برای دمای هوای ورودی ۱۸۰ و ۱۴۰ بود (Aghbashlo et al, 2012). آوی آرا و همکاران (۲۰۱۴) در تجزیه و تحلیل انرژی و اکسرژی خشک کردن نشاسته کاساوا بومی در یک خشک کن لایه نازک به این نتیجه رسیدند که بهره‌وری انرژی ۳۰٫۶۴۵ تا ۱۶٫۰۳۶ درصد افزایش یافته است، در حالی که اکسرژی جریان ورودی، جریان خروجی و اتلاف از ۲٫۶۸۶ تا ۰٫۳۹۹، ۰٫۵۵۵ تا ۰٫۰۵۵ و ۲٫۱۳۱ تا ۰٫۳۴۴ J/S به ترتیب در محدوده درجه حرارت بالا افزایش یافته است. راندمان انرژی با افزایش درجه حرارت هوا خشک کردن و مصرف انرژی و کمتر از راندمان انرژی بود (Aviara et al, 2014). ناز قلیچی و همکاران ۲۰۱۰ در خشک کردن هویج به روش بستر سیال به این نتیجه رسیدند که تحلیل اکسرژی یک ابزار قدرتمند است که به طور گسترده در تجزیه و تحلیل طراحی و عملکرد انرژی مرتبط با سیستم‌های ویژه تجهیزات خشک کن استفاده می‌شود. از آنجا که مقدار از دست دادن انرژی از طریق خروجی هوا و قاب خشک کن برای درصد زیاد، به کارگیری روش‌هایی برای کاهش تلفات از این مولفه‌ها بسیار مهم است. بنابراین عملکرد خشک کن صنعتی را می‌توان به طور قابل توجهی بهبود داد (Nazghelichi et al., 2010). کاشانی نژاد و همکاران (۲۰۰۹) شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) شبکه عصبی و عملکرد پایه شعاعی (RBF) برای تخمین رطوبت دانه گندم در طول خیساندن مورد استفاده قرار دادند. شبکه‌های عصبی مصنوعی به مدل دانه گندم خیساندن در دماهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت و یک مقایسه با نتایج به دست آمده از مدل صفحه ایجاد شده به دست آمد. دمای خیساندن و زمان به عنوان پارامترهای ورودی استفاده شد و نسبت رطوبت به عنوان پارامتر خروجی استفاده شده است. بهترین مدل برای توصیف ویژگی خیساندن دانه گندم در شبکه عصبی MLP پیدا شد متوسط مدول انحراف نسبی ۳٫۹۱٪ و دنبال شد به وسیله RBF شبکه‌های عصبی (P=6.01) و مدل صفحه را (P=22.65) تعمیم داد (Kashaninejad et al., 2009). ناز قلیچی و همکاران (۲۰۱۱) در پیش بینی انرژی و اکسرژی قطعات هویج در خشک کن بستر سیال به این نتیجه رسیدند که برآورد انرژی و اکسرژی از معکب‌های هویج در طول خشک کردن بستر سیال، یک سیستم دینامیکی غیرخطی بود. از مطالعه در این مقاله انجام شده، مشخص شد که مدل ANN recurrent دقیق تر از استاتیکی بود (Nazghelichi et al., 2011).

هدف از این تحقیق بررسی اثر سرعت و دمای هوای ورودی خشک کن بستریال بر روی زمان موثر خشک شدن تخم بوده است تا بتوان مناسب‌ترین سرعت و دمای هوای ورودی را به دست آورد. همچنین در این تحقیق داده‌ها برای ارزشیابی و شبیه سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار خواهند گرفت تا بتوان داده‌های بهتر را شبیه سازی و پیش بینی کرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها

کدوهای تنبل از بازار میدان و تره بار گرگان تهیه شد و پس از مرتب‌سازی و شست و شو تخم کدوها از آن خارج گردید. تخم کدوهای خارج شده با استفاده از استانداردهای اندازه‌گیری رطوبت به وسیله آون رطوبت آن اندازه‌گیری شد که رطوبت این تخم کدوها ۶۳/۲۶ درصد بر پایه خشک بوده است.

### ۲-۲- خشک‌کن بستری سیال

خشک‌کن بستری سیال استفاده شده ساخت گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان بوده است (شکل ۱). برای خشک‌کردن دانه‌های تخم کدو ابتدا وزن شده و سپس تا زمانی که به وزن ثابت برسند در خشک‌کن بستری سیال خشک شده. بازه زمانی وزن کردن نمونه‌ها هر ۱۵ دقیقه یک بار تا لحظه ثابت‌شدن وزن نمونه‌ها بوده است. بعد از هر خشک‌شدن بازه زمانی برای نمونه مورد نظر ثبت گردید.

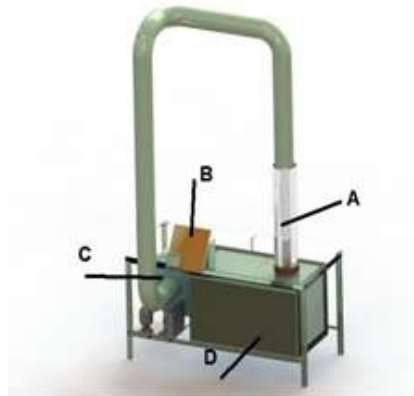


Figure1. Dryer used in the experiment

A: Dryer compartment B: Thermal control C: Fan D: Heaters

A: محفظه خشک‌کن B: کنترل گرمایی C: فن D: گرم‌کن‌ها

شکل ۱ - خشک‌کن استفاده شده در آزمایش

### ۲-۳- آنالیز آماری

نمونه‌ها در سه سرعت و دمای هوای ورودی تحت خشک شدن قرار گرفتند که تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد و نتایج با استفاده از آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار آماری SAS تحلیل شدند.

### ۲-۴- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) برای مدل‌سازی سرعت و دمای ورودی هوا جهت پیشگویی میزان زمان خشک‌شدن تخم کدو انتخاب گردید. شبکه عصبی چند لایه پرسپترون یک شبکه پیش‌خور یا یک ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است. این شبکه توسط ۱ لایه پنهان برای آزمایش انتخاب شد که در هر لایه به ترتیب تعداد ۳، ۵ و ۷ نرون قرار داده شد که برای هر یک از تعداد نرون‌ها شبکه به صورت جداگانه شبیه‌سازی گردید و این شبیه‌سازی با استفاده از نرم افزار نروسولیشن ۵ انجام شد. همچنین از توابع فعال‌سازی<sup>۲</sup> Tanh و Axon در لایه پنهان ورودی و خروجی استفاده گردید. در این تحقیق روش بهینه‌سازی لونیبرگ - مارکوت<sup>۳</sup> به منظور یادگیری شبکه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین ۷۵٪ از داده‌ها برای آموزش، ۱۰ درصد برای ارزیابی شبکه<sup>۴</sup> و ۱۵٪ از داده‌ها برای آزمون شبکه<sup>۵</sup> مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲). سرعت و دمای ورودی هوا به عنوان ورودی‌های شبکه و زمان خشک‌شدن تخم کدو خروجی شبکه مورد نظر بودند. تعداد سه تکرار برای رسیدن به

<sup>۱</sup> Feed-Forward  
<sup>۲</sup> Activation function  
<sup>۳</sup> Levenberg-Marquardt (LM)  
<sup>۴</sup> Validating data  
<sup>۵</sup> Testing data



# یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



حداقل میزان خطا و حداکثر پایداری شبکه به صورت میانگین برابر ۱۰۰۰ سیکل یادگیری برای شبکه منظور گردید. الگوریتم برآورد خطا با الگوریتم پس انتشار خطا صورت گرفت. برای ارزیابی شبکه دو معیار ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده گردید. ضریب تبیین میزان همبستگی بین داده‌های خروجی شبکه عصبی و داده‌های مشاهده شده را تعیین می‌کند و از رابطه ۲ محاسبه می‌شود که مقدار ایده آل آن برابر یک می‌باشد. میانگین مربعات خطا اختلاف بین داده‌های پیش بینی شده و داده‌های واقعی را تعیین می‌کند (رابطه ۴) و ریشه آن از رابطه ۵ محاسبه می‌شود. هدف یک شبکه خوب این است که میزان این خطا را به کمترین مقدار برساند و مقدار ایده آل آن برابر صفر است. پارامترهای آماری شامل میانگین مربعات خطا، ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین و میانگین خطای مطلق برای ورودی‌ها محاسبه شد و روابط با استفاده از فرمول‌های جدول ۱ محاسبه گردید.

جدول ۱ - رابطه‌های شبکه عصبی  
Table1. Neural network relations

فرمول	شماره فرمول	رفرنس
$\text{Tanh} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$	1	(Azadbakht et al., 2017)
$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{(P_i - O)^2}$	2	(Azadbakht et al., 2017)
$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{(P_i - O)^2}}$	3	(Khoshnevisan et al., 2013)
$\text{MSE} = \sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n}$	4	(Azadbakht et al., 2017)
$\text{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n}}$	5	(Khoshnevisan et al., 2013)
$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n  P_i - O_i }{n}$	6	(Azadbakht et al., 2017)

در معادلات ۲ و ۳، ۴، ۵ و ۶ شامل مقادیر پیش بینی شده ( $P_i$ ) و مقادیر واقعی ( $O_i$ ) و مقدار متوسط داده ( $O$ ) می‌باشد.

جدول ۲ - مقادیر برای پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی  
Table 2. Amounts for Artificial Neural Network Parameters

تعداد لایه‌های مخفی	تابع آموزش	نوع تابع فعال سازی	تعداد نرون ها در هر لایه مخفی	آزمون داده‌ها	ارزشیابی داده‌ها	آموزش داده‌ها
1	Levenberg Marquardt	Hyperbolic tangent	3	15%	10%	75%
1	Levenberg Marquardt	Hyperbolic tangent	5	15%	10%	75%
1	Levenberg Marquardt	Hyperbolic tangent	7	15%	10%	75%

Epoch<sup>۱</sup>  
Back propagation error<sup>۲</sup>  
Root mean squared error (RMSE)<sup>۳</sup>  
Mean Square Error (MSE)<sup>۴</sup>  
Mean Absolute Error (MAE)<sup>۵</sup>



### ۳- نتایج و بحث

با توجه به جدول ۳ نتایج آنالیز واریانس زمان خشک شدن تخم کدو در سرعت و دمای هوای ورودی نشان داده شده است. با توجه به جدول دمای هوای ورودی و همچنین اثر متقابل سرعت هوای ورودی و دمای هوای ورودی در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شده است. همچنین اثر سرعت هوای ورودی برای تخم کدو معنی دار نشده است. با توجه به معنی دار شدن اثر متقابل این فاکتورها اقدام به انجام آزمون LSD گردید که نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۳- آنالیز واریانس زمان خشک شدن تخم کدو تا لحظه شکست در سرعت و دمای هوای ورودی

Table 3. Analysis of the variance of the drying time of pumpkin seeds until the moment of failure in the velocity and temperature of the inlet air

F Value	Mean Square	درجه آزادی	فاکتورها
ns, ۰,۷۶	۱۸۲۵	۲	سرعت هوای ورودی
۱۰,۹۳**	۲۶۳۲۵	۲	دمای هوای ورودی
۵,۸۸**	۱۴۱۶۲	۴	سرعت هوای ورودی * دمای هوای ورودی
۲۴,۰۸,۳۳		۱۸	خطا

\*\* نشان دهنده معنی داری در سطح ۱ درصد، \* نشان دهنده معنی داری در سطح ۵ درصد و ns نشان دهنده عدم معنی داری

با توجه به شکل ۲ در یک سرعت هوای ورودی ثابت با افزایش میزان دمای ورودی زمان خشک شدن کاهش پیدا کرده است. اما با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل های آماری تفاوت معنی داری بین دمای هوای ورودی در سرعت های مختلف وجود ندارد. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده در یک دمای هوای ورودی ثابت با افزایش سرعت هوای ورودی میزان زمان خشک شدن کاهش یافته است.

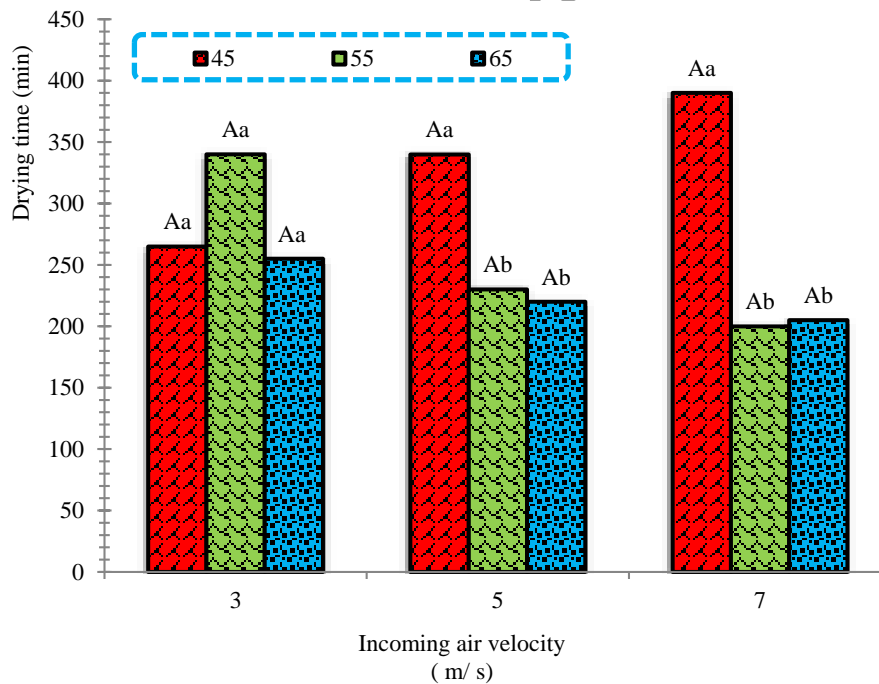


Figure 2. Effect of velocity and temperature of air entering on the drying time of pumpkin seeds

شکل ۲- تاثیر سرعت و دمای هوای ورودی بر زمان خشک شدن تخم کدو

حروف بزرگ نشان دهنده معنی داری در یک دمای ورودی مشابه و حروف کوچک نشان دهنده معنی داری در یک سرعت هوای ورودی مشابه است

در جدول ۵ نتایج شبکه ها با نرون ها مختلف نشان داده شده است. در این جدول مقادیر به دست آمده برای MSE, RMSE, MAE و R2 برای آموزش و آزمون شبکه نشان داده شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده برای شبکه برای زمان خشک شدن تخم کدو بهترین R2 در شبکه ای با ۷ نرون در لایه پنهان مشاهده شده است



## یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



که مقدار  $R2$  برای آموزش ( $R2=0.864750305$ ) و برای آزمون ( $R2=0.996872135$ ) بوده است. همچنین بهترین میزان MAE و RMSE برای مقدار آزمون در شبکه‌ای با ۷ نرون ( $RMSE=2.631564$ -  $MAE=1.724758807$ ) و برای آموزش در شبکه با ۷ نرون ( $MAE=1.907000254$ -  $RMSE=2.704542$ ) در لایه پنهان بوده است که این مقدار نشان دهنده اختلاف کم بین داده‌های ورودی و خروجی شبکه را نشان می‌دهد. همچنین شبکه‌ای با تعداد ۵ نرون ( $R2=0.0230251742$ ) در لایه پنهان برای آزمون و با ۵ نرون ( $R2=0.759909559$ ) در لایه پنهان برای آموزش کمترین میزان  $R2$  را نشان داده است و این امر دقت پایین‌تر این شبکه با تعداد نرون در لایه‌های پنهان را نشان می‌دهد و برای MAE و RMSE نیز ضعیف‌ترین شبکه برای آزمون و آموزش شبکه با ۵ نرون در لایه پنهان بوده است.

جدول ۴- بعضی از بهترین توپولوژی‌های شبکه عصبی MLP برای پیش‌بینی آموزش و آزمون شبکه

Table 4. Some of the best MLP neural network topologies to predict network training and testing

	3 نرون در لایه مخفی		5 نرون در لایه مخفی		7 نرون در لایه مخفی	
	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
MSE	8.033333333	14.96645268	10.2429364	24.2203064	6.925128379	7.314548033
RMSE	2.834314	3.86865	3.200459	4.921413	2.631564	2.704542
MAE	1.833333333	3.516654358	2.125148211	4.420290332	1.724758807	1.907000254
R2	0.824666199	0.893728767	0.759909559	0.023025174	0.864750305	0.996872135

در جدول ۵ بهترین میزان اجرا و سیکل یادگیری برای هر یک از تعداد نرون‌ها در لایه‌های مخفی نشان داده شده است با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان مشاهده کرد شبکه ای با تعداد ۵ نرون در لایه مخفی توانایی مناسبی در پیش‌بینی نداشته است. همچنین شبکه ای با ۳ نرون در لایه مخفی و ۷ نرون در لایه مخفی در بخش اعتبار سنجی توانایی پیش‌بینی یکسانی را داشته است؛ اما کمترین میزان سیکل یادگیری برای زمان خشک شدن تخم کدو (= ۷ تعداد نرون ها = ۱۳ سیکل یادگیری)، به دست آمده است. همچنین این یادگیری سریع برای داده های آموزش در سیکل اول نشان دهنده یادگیری سریع شبکه ای با ۷ نرون در لایه پنهان بوده است.

جدول ۵- برخی از توپولوژی‌های شبکه عصبی MLP برای پیش‌بینی مقادیر آموزش و ارزشیابی مقادیر

Table 5. Some of the MLP neural network topologies for predict values of training and evaluation of values

	3 نرون در لایه مخفی		5 نرون در لایه مخفی		7 نرون در لایه مخفی	
	آموزش	اعتبار سنجی	آموزش	اعتبار سنجی	آموزش	اعتبار سنجی
اجرا	2	3	2	2	1	3
سیکل یادگیری	17	9	1000	69	13	9

با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز حساسیت شبکه عصبی می‌توان مشاهده کرد که برای داده‌های آموزش و آزمون بیشترین ضریب حساسیت در دمای هوای ورودی مشاهده (۷ نرون در لایه پنهان) شده است و برای داده‌های اعتبار سنجی نیز دمای هوا حساسیت بیشتری را نشان داده است (۳ نرون در لایه پنهان). با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان کرد که دمای هوای ورودی تاثیر بیشتری را بر میزان زمان خشک شدن داشته است و سرعت هوای ورودی تاثیر چندانی بر میزان زمان شدن نداشته است.

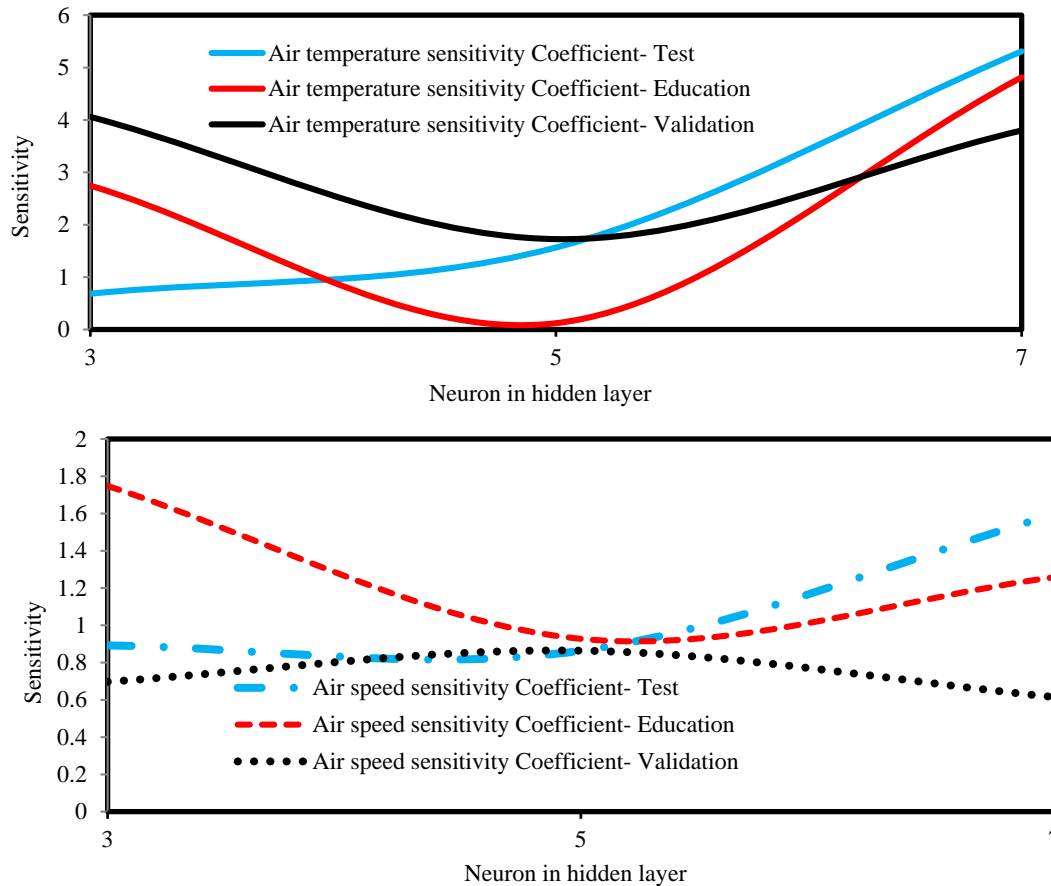


Figure 6. Dryness time sensitivity of the dryer under speed and air temperature

شکل ۶ - ضریب حساسیت زمان خشک دانه تحت سرعت و دمای هوای ورودی خشک کن

#### ۴- نتیجه گیری

- با افزایش سرعت هوای ورودی به طور معنی داری میزان زمان خشک شدن تخم کدو کاهش یافته است و دمای هوای ورودی ۴۵ درجه سانتی گراد تاثیر زیادی بر روی میزان کاهش زمان خشک شدن تخم کدو دارد.
- بهترین زمان خشک شدن در دمای ورودی ۵۵ درجه سانتی گراد و سرعت هوای ورودی ۷ متر بر ثانیه بوده است.
- بهترین نوع شبکه از لحاظ تعداد نرون در لایه مخفی، شبکه با ۷ نرون در لایه مخفی بوده است. زیرا توانسته بیشترین میزان  $R^2$  را به دست آورد.
- شبکه ای با ۵ نرون در لایه پنهان توانایی مناسبی در پیش بینی زمان خشک شدن را نشان نداده است.
- بیشترین ضریب حساسیت برای زمان خشک شدن تخم کدو مربوط به دمای هوای ورودی بوده است و نتایج نشان داده که سرعت هوای ورودی تاثیر کمتری را داشته است.

#### ۵-مراجع

Azadbakht, M., Aghili, H., Ziaratban, A., & Vahedi Torshizi, M. (2017). Application of artificial neural network method to exergy and energy analyses of fluidized bed dryer for potato cubes. *Energy*, 120, 12.

Azadbakht, M., Vahedi Torshizi, M., Aghili, H., & Ziaratban, A. (2017). Application of Artificial Neural Network (ANN) in Drying Kinetics Analysis for Potato Cubes. *CARPATHIAN JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 12.



## یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sims University

Azadbakht, M., Vahedi Torshizi, M., Aghili, H., & Ziaratban, A. (2018). THERMODYNAMIC ANALYSIS OF DRYING POTATO CUBES IN A FLUIDIZED BED DRYER. *CARPATHIAN JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 12.

Azadbakht, M., Vahedi Torshizi, M., Ghajarjazi, E., & Ziaratban, A. (2016). Determination of some constant parameters during cutting of canola stem. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18(2), 9.

Olfati, J.A., Alaghemand, S., Hamidoghli, Y., & Ghasemnezhad, M. (2015). Pollination and Cooking on Antioxidant Capacity in Pumpkin Pulp and Seed. *International Journal of Vegetable Science*, 21(4), 5.

Hernández-Santos, B., Rodríguez-Miranda, J., Herman-Lara, E., Torruco-Uco, J.G., Carmona-García, R., Juárez-Barrientos, J.M., Chávez-Zamudio, R., & Martínez-Sánchez, C.E. (2016). Effect of oil extraction assisted by ultrasound on the physicochemical properties and fatty acid profile of pumpkin seed oil (*Cucurbita pepo*). *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 7.

Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., & Madadlou, A. (2012). Energy and exergy analyses of the spray drying process of fish oil microencapsulation. *Biosystems Engineering*, 111, 13.

Aviara, N.A., Onuoha, L.N., Falola, O.E., & Igbeka, J.C. (2014). Energy and exergy analyses of native cassava starch drying in a tray Dryer. *Energy*, 73, 9.

Nazghelichi, T., Kianmehr, M.H., & Aghbashlo, M. (2010). Thermodynamic analysis of fluidized bed drying of carrot cubes. *Energy*, 35, 6.

Kashaninejad, M., Dehghani, A.A., & Kashiri, M. (2009). Modeling of wheat soaking using two artificial neural networks (MLP and RBF). *Journal of Food Engineering*, 91, 6.

Nazghelichi, T., Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., & Omid, M. (2011). Prediction of Energy and Exergy of Carrot Cubes in a Fluidized Bed Dryer by Artificial Neural Networks. *Drying Technology*, 29, 13.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S.H., Omid, M., & Yousefi, M. (2013). Prediction of environmental indices of Iran wheat production using artificial neural networks. *International Journal of Energy and Environment*, 4(2), 10.

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