



## مدل‌سازی فرآیند خشک‌شدن بسترسیال ناپیوسته شلتوک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

مجید خانعلی<sup>۱\*</sup>، عسگر خاکپور گیگلو<sup>۲</sup> و شاهین رفیعی<sup>۳</sup>

۱ و ۲ - به ترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

ایمیل مکاتبه کننده: [khanali@ut.ac.ir](mailto:khanali@ut.ac.ir)

### چکیده

در این مطالعه، مدل‌سازی خشک‌شدن بسترسیال ناپیوسته شلتوک با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. آزمایش‌های خشک‌شدن شلتوک با رطوبت اولیه ۳۰ درصد بر پایه خشک در سطوح دمای هوای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس، سطوح سرعت هوای ورودی ۲/۳، ۲/۵ و ۲/۸ متر بر ثانیه و ارتفاع بستر ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر انجام شد. بهترین شبکه عصبی مصنوعی از نوع شبکه پس انتشار پیش‌خور با الگوریتم یادگیری لوبز-مارکوارت و تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید با توپولوژی ۱-۲۰-۴ تعیین شد. مقدار میانگین مربعات خطا و مقدار ضریب تبیین به ترتیب برابر ۰/۰۰۰۰۰۷۲۳ و ۰/۹۹۹۹۷ بدست آمد. نتایج نشان داد که افزایش دما و سرعت هوای ورودی به خشک‌کن، باعث کاهش مدت زمان خشک‌شدن می‌شود، همچنین، تأثیر دمای هوای ورودی به خشک‌کن در کاهش مدت زمان خشک‌شدن بسیار بیشتر از تأثیر سرعت هوای ورودی به خشک‌کن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌شدن، بسترسیال، شبکه عصبی مصنوعی، شلتوک.

### مقدمه

برنج با نام انگلیسی Rice و نام علمی *Oryza sativa* از خانواده Gramineae poaceae با سطح زیر کشت حدود ۶۰۰ هزار هکتار، بعد از گندم دومین محصول مهم زراعی و استراتژیک در ایران به شمار می‌آید. ایران در سطح بین‌المللی دارای رتبه بیستم از نظر تولید برنج است و تولید شلتوک در ایران از ۱/۰۵۶ میلیون تن در سال ۱۹۷۰، به ۲/۹ میلیون تن در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته است (Fao, 2015). شلتوک برنج با درصد رطوبت بالا در حدود ۴۵-۲۵ درصد بر پایه خشک برداشت می‌شود. در کل مقاله، رطوبت شلتوک به صورت درصد و بر پایه خشک بیان شده است. ذخیره‌سازی شلتوک با رطوبت بالا قبل از سفیدکنی به دلیل رشد قارچ‌ها و میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش دما، تغییرات نامطلوب رنگ، عطر، طعم و کاهش راندمان سفیدکنی می‌شود (Brooker et al, 1992). بنابراین برای افزایش خاصیت انبارداری و جلوگیری از بروز مشکلات فوق باید



شلتوک را تا حد ممکن در کمترین زمان پس از برداشت، تا رطوبت ۱۶-۱۴ درصد بر پایه خشک، کاهش داده شود (خوش- تقاضا و همکاران، ۱۳۸۶).

در ایران برای خشک کردن شلتوک معمولاً از خشک‌کن مخزنی استفاده می‌شود. استفاده از این خشک‌کن باعث توزیع غیر یکنواخت رطوبت و دمای محصول در حین خشک شدن می‌شود، در نتیجه تنش‌های حرارتی ایجاد شده در آن باعث کاهش کیفیت خواهند شد. در ضمن خشک‌کن‌های مخزنی دارای ظرفیت محدود بوده و فرآیند کنترل دقیق دما و رطوبت شلتوک نیز امکان پذیر نمی‌باشد (طباطبائی فر و رفیعی، ۱۳۸۱).

یکی از روش‌های خشک کردن شلتوک استفاده از خشک‌کن‌های بستر سیال می‌باشد. این روش دارای مزایایی از قبیل سرعت بالای خشک شدن (سرعت بالای انتقال جرم)، بازده گرمایی بالا (سرعت بالای انتقال حرارت)، سهولت جابه‌جایی مواد درون بستر، کنترل آسان و هزینه نگهداری پایین است. محدودیت‌های این روش شامل افت فشار بالا، مصرف بالای انرژی الکتریکی، سیالیت ضعیف بعضی از مواد دانه‌ای ریز، فرسایش دیواره‌های دستگاه و سایش مواد می‌باشد (Mujumdar, 2006).

پدیده خشک کردن به دلیل مشکلات و نواقص موجود در توصیف ریاضی پدیده‌های هم‌زمان، جفت و چندفازی انتقال جرم و حرارت، به عنوان یکی از پیچیده‌ترین و ناشناخته‌ترین فرآیندهای مهندسی شناخته می‌شود (Omid et al, 2009). یکی از راهکارهای مهم جهت شناخت بهتر پدیده خشک شدن، مدل‌سازی سنتیک خشک کردن است. مدل‌سازی سنتیک خشک شدن علاوه بر پیش‌بینی رطوبت، یک بینش کلی از مکانیزم خشک شدن ارائه می‌کند که این امر می‌تواند به کنترل بهتر فرآیند خشک کردن، افزایش کیفیت محصول خروجی و کاهش مصرف انرژی کمک کند. شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۱</sup> قدرت تامین دقت و سرعت لازم را برای پیش‌بینی فرآیند خشک کردن را دارند (خزائی و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین امروزه استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی روابط غیرخطی فرآیندهای خشک شدن رایج شده است.

کویلس<sup>۲</sup> و ریز<sup>۳</sup> برای مدل‌سازی فرآیند خشک کردن هوای داغ هویج از یک شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. پارامترهای زمان، سرعت و دمای هوا به عنوان ورودی و نسبت رطوبت به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد. در این بررسی از شبکه‌ای با دو زیرلایه یکی با نرون‌های سیگموئیدی و دیگری با نرون‌های خطی استفاده شد. منحنی‌های خشک کردن حاصل از این شبیه‌سازی که با این شبکه بدست آمدند با دقت مناسبی به داده‌های آزمایشی برازش داده شدند (Cubillos and Reyes, 2003). نازقلیچی و همکاران خشک کردن بستر سیال مکعب‌های هویج را در سه دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس مورد بررسی قرار دادند که شبکه شامل چهار ورودی و دو خروجی بود (Nazghelichi et al, 2011). خوش تقاضا و همکاران برای پیش‌بینی ضریب تبدیل شلتوک به برنج سفید در خشک کردن به روش بستر ثابت از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده کردند که رطوبت نسبی هوای محیط، دمای هوای محیط، سرعت هوا، عمق بستر، دمای هوای ورودی، رطوبت اولیه و نهایی به عنوان ورودی و ضریب تبدیل شلتوک به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شد. نتایج آنها نشان‌دهنده آن بود که شبکه پس

<sup>1</sup> Artificial neural networks

<sup>2</sup> Cubillos

<sup>3</sup> Reyes



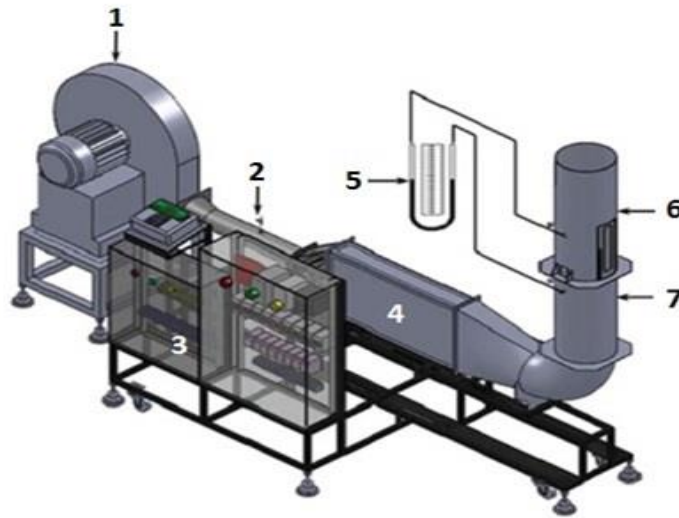
انتشار پیش‌خور با توپولوژی ۱-۷-۷-۷ با الگوریتم یادگیری لونیبرگ-مارکورات با تابع آستانه تانژانت سیگموئیدی قادر است راندمان تبدیل شلتوک را به برنج با ضریب تبیین ۰/۹۶۵۵ و خطای متوسط مطلق ۰/۰۱۹ در شرایط مختلف خشک‌شدن شلتوک پیش‌بینی کند (خوش‌تقاضا و همکاران، ۱۳۸۶). از جمله تحقیقات دیگری که از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی فرایند خشک‌شدن محصولات انجام شده است می‌توان به شبیه‌سازی سینتیک خشک‌شدن (Tomczak and Kaminski, 2001)، مدل‌سازی مدل‌سازی تغییر رنگ ورقه‌های سیب در طول خشک‌شدن با هوای داغ (Nadian et al, 2014)، خشک‌شدن بستر نازک پرتقال رقم تامسون (شریفی و همکاران، ۱۳۸۹)، خشک‌شدن لایه نازک موز (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱)، خشک‌کردن لایه نازک گوجه‌فرنگی (مختاریان و کوشکی، ۱۳۹۱)، خشک‌کردن لایه نازک انگور (عباسپور کلان و همکاران، ۱۳۹۲) و خشک‌شدن لایه نازک زرشک (گرجیان و همکاران، ۱۳۹۳) اشاره کرد.

هدف از این مطالعه مدل‌سازی فرآیند خشک‌شدن بستر سیال ناپیوسته شلتوک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### آزمایش‌های خشک‌کردن

آزمایش‌های خشک‌کردن دانه‌های شلتوک توسط یک خشک‌کن بسترسیال ناپیوسته نشان داده شده در شکل (۱) انجام گرفت. برخی اجزای این خشک‌کن شامل: ۱- دمنده هوا؛ ۲- لوله پیتو؛ ۳- جعبه کنترل؛ ۴- گرمکن‌های الکتریکی؛ ۵- فشارسنج؛ ۶- محفظه خشک‌کن و ۷- صفحه توزیع‌کننده جریان هوا می‌باشد. قطر داخلی و ارتفاع محفظه خشک‌کن به ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۷ متر بود. در ته بستر صفحه پخش‌کننده هوا با سوراخ‌های به قطر ۱/۵ میلی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر قرار گرفت. بر روی بدنه بستر خشک‌کن سه سنسور اندازه‌گیری دمای مواد درون بستر در فواصل ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری از کف بستر قرار گرفته است. سنسور رطوبت هوا نیز در بالای بستر به منظور اندازه‌گیری رطوبت نسبی هوای خروجی قرار دارد. رطوبت نسبی محیط و هوای ورودی به بستر نیز توسط سنسور رطوبت نسبی اندازه‌گیری می‌شود. جریان هوا توسط یک دمنده گریز از مرکز ایجاد و تغییر دبی هوا توسط دریچه قابل تنظیم در ورودی دمنده امکان‌پذیر می‌باشد. جریان هوا قبل از ورود به گرم‌کن الکتریکی توسط لوله پیتو اندازه‌گیری شده و دمای جریان هوا مورد نظر توسط سیستم کنترل تنظیم گردید.

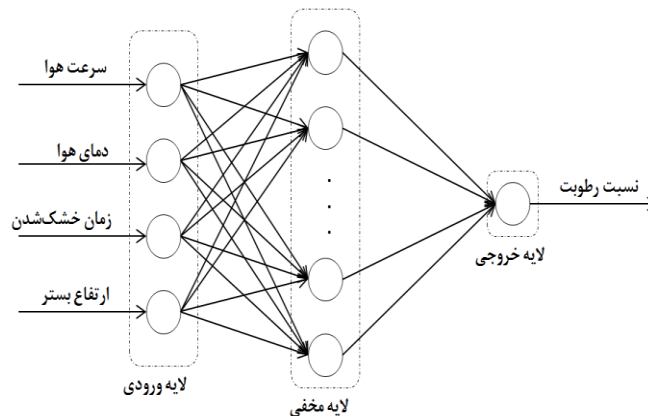


شکل ۱- (طرح‌واره خشک‌کن بستر سیال آزمایشگاهی)

آزمایش‌های خشک‌کردن بر روی شلتوک رقم فجر و در سطوح دمای هوای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سطوح سرعت هوای ۲/۳، ۲/۵ و ۲/۸ متر بر ثانیه و ارتفاع بستر ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر انجام شد. پس از روشن شدن خشک‌کن و دستیابی به شرایط پایا از نظر سرعت و دمای هوای خشک‌کردن، شلتوک با رطوبت اولیه ۳۰ درصد وارد محفظه شد. آزمایش‌های خشک‌شدن به مدت ۴۰ دقیقه به طول انجامید. به منظور تعیین رطوبت شلتوک در طول آزمایش، نمونه‌گیری در فواصل زمانی ۲ دقیقه صورت گرفت. به منظور تعیین وزن خشک نمونه، از روش خشک‌شدن نمونه در آن به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس استفاده شد.

#### مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی شده در این تحقیق، به منظور پیش‌بینی نسبت رطوبت شلتوک در فرآیند خشک‌شدن بسترسیال شلتوک مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق، ۳۷۸ داده از آزمایش‌ها بدست آمد که بطور تصادفی ۶۰ درصد برای آموزش، ۲۰ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی و ۲۰ درصد برای ارزیابی شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای ورودی مدل شامل زمان خشک‌شدن، دمای هوای، سرعت هوا و ارتفاع بستر و متغیر خروجی نسبت رطوبت در نظر گرفته شدند. بنابراین چهار نرون برای لایه ورودی و یک نرون برای لایه خروجی مطابق شکل (۲) انتخاب شد.



شکل ۲- (طرح‌واره شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده)

برای دستیابی به شبکه عصبی مصنوعی بهینه، مدل‌های مختلفی از شبکه عصبی مصنوعی چندلایه پیش‌خور با تعداد یک و دو لایه مخفی و تعداد نرون‌های مختلف، طراحی و اجرا شد. برای آموزش شبکه عصبی چندلایه پیش‌خور از الگوریتم یادگیری لونیبرگ-مارکورات<sup>۴</sup> استفاده شد. در این تحقیق از تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید<sup>۵</sup> برای یادگیری غیرخطی لایه مخفی و از تابع محرک خطی بین لایه‌های شبکه استفاده گردید. برای دستیابی به شبکه بهینه، تعداد نرون‌های لایه مخفی از ۱ تا ۲۵ مورد بررسی قرار گرفت و از میان شبکه‌ی آموزش داده شده، شبکه عصبی مصنوعی چندلایه پیش‌خور با یک لایه مخفی به دلیل نتیجه بهتر به عنوان شبکه بهینه انتخاب گردید. بهترین روش آموزش برای داده‌های مورد استفاده و همچنین مقایسه عملکرد شبکه‌های ساخته شده براساس معیارهای میانگین مربعات خطا<sup>۶</sup> (MSE)، میانگین مطلق خطا<sup>۷</sup> (MAE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) مدل بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده انجام گردید. همچنین در این تحقیق، برای طراحی و اجرا شبکه عصبی مصنوعی، از نرم‌افزار NeuroSolutions نسخه ۵ استفاده گردید.

## نتایج و بحث

پیش‌بینی نسبت رطوبت به کمک شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی مختلفی با یک و دو لایه مخفی طراحی و اجرا شد تا مدل بهینه نسبت رطوبت شلتوک پیش‌بینی گردد. رویه کار به این صورت بود که ابتدا شبکه عصبی مصنوعی با یک لایه مخفی با تعداد نرون‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ و تعداد اپوک‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ برای لایه مخفی اول و دوم بررسی گردید. جدول (۱) نتایج بدست آمده برای شبکه‌های ساخته شده با استفاده از الگوریتم لونیبرگ-مارکورات با یک و دو لایه مخفی و تعداد نرون‌های مختلف در لایه مخفی آموزش داده شده، نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که با افزایش تعداد نرون در لایه مخفی اول تا ۲۰ نرون، عملکرد شبکه بهبود یافت و با افزایش نرون‌ها به بیش از ۲۰، عملکرد کاهش یافت. با افزایش تعداد نرون‌ها در لایه مخفی دوم، عملکرد شبکه روند خاصی را طی نکرد. بنابراین شبکه عصبی مصنوعی در یک لایه مخفی با ۲۰ نرون کمترین

<sup>1</sup> Levenberg-Marquardt

<sup>2</sup> tansig

<sup>3</sup> Mean Square Error

<sup>4</sup> Mean Absolute Error

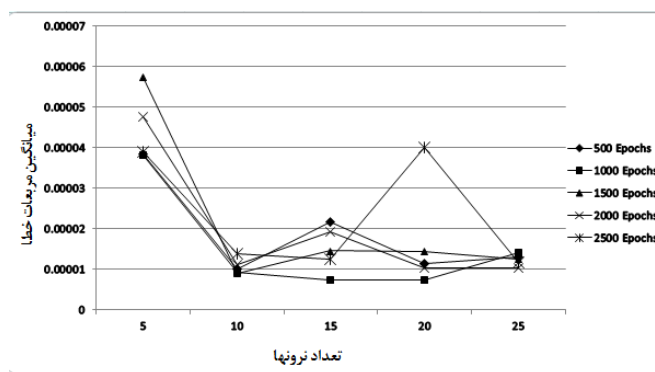


میانگین مربعات خطا و بالاترین ضریب تبیین را داشت. این مطلب نشان‌دهنده یادگیری خوب و کارآمد شبکه با استفاده از الگوریتم آموزشی موردنظر و داده‌های ارائه‌شده به شبکه می‌باشد. شبکه نشان می‌دهد که با افزایش نرون در لایه مخفی اول، میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین، به ترتیب کم‌تر و بیشتر می‌گردد.

جدول ۱- (شاخص‌های آماری ارزیابی بهترین شبکه عصبی مصنوعی)

R <sup>2</sup>	تعداد نرون میانگین مربعات خطا	
	لایه مخفی	
۰,۹۹۹۴۹	۵	۰,۰۰۰۰۴۶۲۵
۰,۹۹۹۸۶	۱۰	۰,۰۰۰۰۱۲۲۸
۰,۹۹۹۸۷	۱۵	۰,۰۰۰۰۱۰۶۹
۰,۹۹۹۹۷	۲۰	۰,۰۰۰۰۰۷۲۳
۰,۹۹۹۷۲	۲۵	۰,۰۰۰۰۲۴۰۴
۰,۹۹۹۷۲	۳ و ۵	۰,۰۰۰۰۲۵۰۰
۰,۹۹۹۷۲	۵ و ۵	۰,۰۰۰۰۲۵۰۰
۰,۹۹۹۸۳	۳ و ۶	۰,۰۰۰۰۱۵۶۳
۰,۹۹۹۶۶	۵ و ۶	۰,۰۰۰۰۲۹۷۴
۰,۹۹۹۷۱	۳ و ۷	۰,۰۰۰۰۲۶۳۰
۰,۹۹۹۷۷	۵ و ۷	۰,۰۰۰۰۲۱۲۹
۰,۹۹۹۶۹	۶ و ۷	۰,۰۰۰۰۲۹۵۳
۰,۹۹۹۸۸	۳ و ۸	۰,۰۰۰۰۱۱۱۱
۰,۹۹۹۶۶	۵ و ۸	۰,۰۰۰۰۳۰۱۱
۰,۹۹۹۳۱	۶ و ۸	۰,۰۰۰۰۵۹۹۶
۰,۹۹۹۳۸	۷ و ۸	۰,۰۰۰۰۵۴۴۹

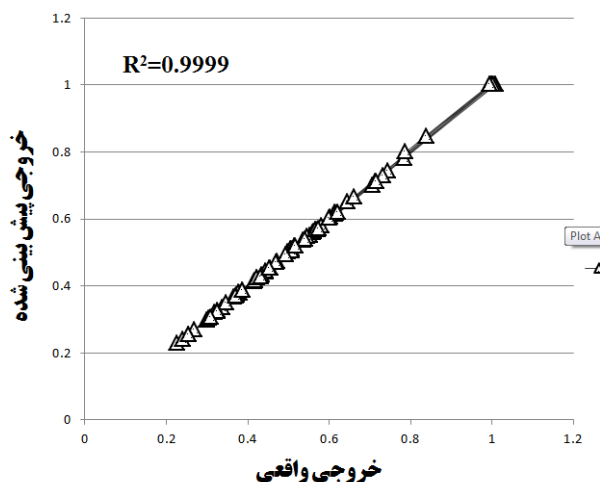
میانگین مربعات خطای شبکه عصبی مصنوعی نسبت به تعداد نرون‌های لایه مخفی و تعداد اپوک‌های آموزشی در شکل (۳) نشان داده شده است. شبکه عصبی مصنوعی با یک لایه مخفی و تعداد نرون ۲۰ و تعداد اپوک آموزشی ۱۰۰۰، بدلیل خطای کم و ضریب تبیین بیشتر، بهترین شبکه انتخاب شد.



شکل ۳- (میانگین مربعات خطای شبکه نسبت به تعداد نرون لایه مخفی و تعداد اپوک آموزشی)

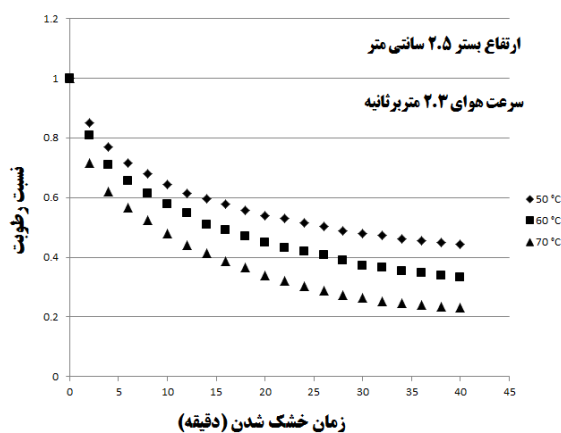


همچنین مقایسه بین داده‌های آزمایشی (واقعی) و پیش‌بینی شده با شبکه عصبی برای خشک‌شدن بسترسیال شلتوک، در شکل (۴) نشان داده شده است. همانطوری که مشخص است، همبستگی خوبی بین داده‌های آزمایشی و پیش‌بینی شده برای الگوریتم آموزشی لونیبرگ-مارکوات وجود دارد.

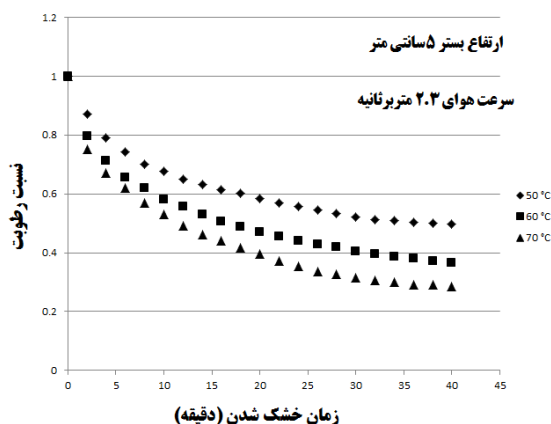


شکل ۴- مقایسه نتایج واقعی و نتایج پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی

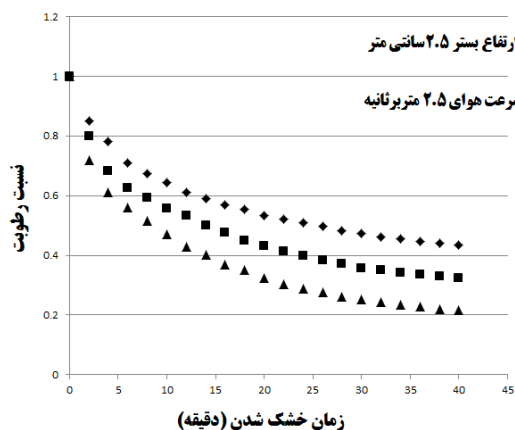
تغییرات میزان رطوبت شلتوک با گذشت زمان طی فرآیند خشک‌شدن برای بررسی سینتیک خشک‌شدن بسترسیال، منحنی‌های نسبت رطوبت در مقابل زمان خشک‌شدن در شرایط مختلف خشک‌شدن، در شکل‌های ۵ تا ۱۰ رسم شده‌اند. نتایج حاکی از آن است که با افزایش دمای خشک‌شدن از ۵۰ به ۷۰ درجه سلسیوس، شیب منحنی‌های تغییرات نسبت رطوبت به زمان شدیدتر شده است، یا به عبارت دیگر سرعت فرآیند با افزایش دمای هوای خشک‌کن افزایش چشم‌گیری پیدا کرده است.



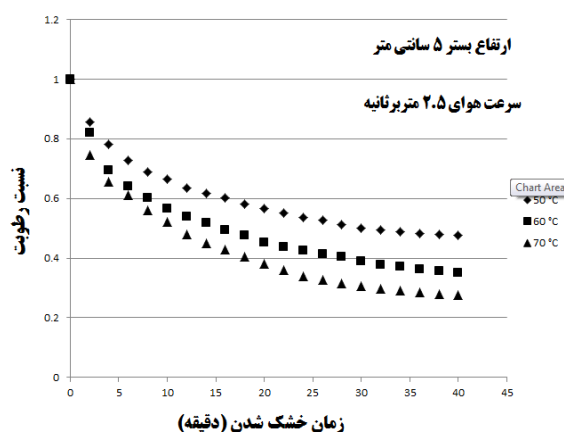
شکل ۵- تغییرات نسبت رطوبت به زمان خشک‌شدن در دماهای مختلف و سرعت ۲/۳ m/s و ارتفاع بستر ۲/۵ cm



شکل ۶- تغییرات نسبت رطوبت به زمان خشک شدن در دماهای مختلف و سرعت  $2.3 \text{ m/s}$  و ارتفاع بستر  $5 \text{ cm}$

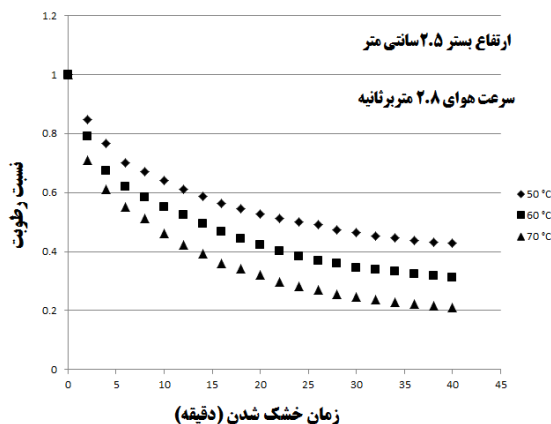


شکل ۷- تغییرات نسبت رطوبت به زمان خشک شدن در دماهای مختلف و سرعت  $2.5 \text{ m/s}$  و ارتفاع بستر  $2.5 \text{ cm}$

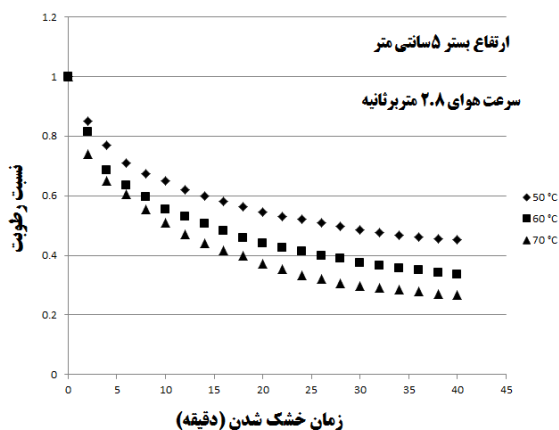


شکل ۸- تغییرات نسبت رطوبت به زمان خشک شدن در دماهای مختلف و سرعت  $2.5 \text{ m/s}$  و ارتفاع بستر  $5 \text{ cm}$





شکل ۹- (تغییرات نسبت رطوبت به زمان خشک‌شدن در دماهای مختلف و سرعت ۲/۸ m/s و ارتفاع بستر ۲/۵ cm)



شکل ۱۰- (تغییرات نسبت رطوبت به زمان خشک‌شدن در دماهای مختلف و سرعت ۲/۸ m/s و ارتفاع بستر ۵ cm)

### نتیجه‌گیری

- ۱- شبکه عصبی مصنوعی، نسبت رطوبت شلتوک را به کمک چهار پارامتر ورودی سرعت هوا، دمای هوا، ارتفاع ساکن بستر و زمان خشک‌شدن پیش‌بینی کرد. بهترین شبکه عصبی برای آموزش داده‌ها، شبکه پس‌انتشار پیش-خور با الگوریتم یادگیری لوبرگ-مارکوارت و تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید با توپولوژی ۱-۲۰-۴ و ضریب تعیین ۰/۹۹۹۹۷ برای شلتوک در شرایط مختلف خشک‌کردن بسترسیال بود.



۲- شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار پیش‌خور، برای پیش‌بینی نسبت رطوبت در خشک‌کردن بسترسیال محصولات کشاورزی مناسب است.

۳- افزایش دما و سرعت هوای ورودی به خشک‌کن، باعث کاهش مدت زمان خشک‌شدن شد و تاثیر دمای هوای ورودی به خشک‌کن در کاهش مدت زمان خشک‌شدن بسیار بیشتر از تاثیر سرعت هوای ورودی به خشک‌کن است.

## مراجع

۱. بهروزی خزائی، ن. توکلی، ت. امیری چایجان، ر. خوش تقاضا، م. ه. ۱۳۸۷. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش-بینی محتوای رطوبتی در طی فرآیند خشک‌کردن انگور. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. خوش تقاضا، م. ه. امیری چایجان، ر. منتظر، غ. ع. مینایی، س. ۱۳۸۶. پیش‌بینی ضریب تبدیل شلتوک به برنج سفید در خشک‌کردن به روش بستر ثابت به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۸ (۲): ۱۳۵-۱۵۶.
۳. شریفی، م. رفیعی، ش. کیهانی، ع. ر. امید، م. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی مدل سینتیک خشک‌شدن بستر نازک پرتقال (رقم تامسون) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجله علوم و صنایع غذایی ایران. دوره ۷ شماره ۱.
۴. طباطبائی‌فر، ا. رفیعی، ش. ۱۳۸۱. چگونگی توزیع رطوبت در مخزن خشک‌کن نوع خوابیده طی فرآیند خشک‌کردن شلتوک، مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۳، شماره ۴، صفحه ۷۷۵-۷۶۱.
۵. عباسپور کلان، ی. نیکبخت، م. ع. راهنما، م. ۱۳۹۲. مدل‌سازی خشک‌کردن لایه نازک انگور سفید بی دانه، مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۶، شماره ۱.
۶. کریمی، ف. دهقان‌نیا، ج. قنبرزاده، ب. رفیعی، ش. ۱۳۹۱. مدل‌سازی خشک‌کردن لایه نازک موز و بهینه‌سازی فرآیند توسط شبکه عصبی مصنوعی، نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد ۲۲ شماره ۳.
۷. گرجیان، ش. توکلی، ت. خوش تقاضا، م. ه. ۱۳۹۳. مدل‌سازی سینتیک خشک‌شدن لایه نازک میوه زرشک (*Berberis Vulgaris*) به کمک شبکه عصبی مصنوعی، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره ۴۵، دوره ۱۱.
۸. مختاریان، م. کوشکی، ف. ۱۳۹۱. تخمین پارامترهای خشک‌کردن گوجه فرنگی با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، جلد ۱، شماره ۱، صفحات ۶۱-۷۴.
9. Brooker, D.B. Bakker-Arkema, F.W. & Hall, C.W. 1992. *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. Van Nostrand Reinold, New York.
10. Cubillos, H. & Reyes, A. 2003. Drying of carrots in a fluidized bed. II. Design of a model based on a modular neural network approach. *Drying Technol*, 21(7): 1185-1196.
11. FAOSTAT. Rice production. 2015. Available at <http://faostat.fao.org>.
12. Nadian, M. H. Rafiee, S. Aghbashlo, M. Hosseinpour S. & Mohtasebi, S. S. 2014. Continuous real-time monitoring and neural network modeling of apple slices color changes during hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



13. Nazghelichi, T. Kianmehr M. H. & Aghbashlo, M. 2011. Prediction of carrot cubes drying kinetics fluidizedbed drying by artificial neural network. J Food Sci Technol, 48(5): 542-550.
14. Tomczak E. & Kaminski, W. 2001. Drying kinetics simulation by means of artificial neural networks. Handbook of Powder Technology 10: 569-580.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## Modeling of batch fluidized bed drying process of rough rice using artificial neural networks

### Abstract

In this study, the fluidized bed rough rice drying kinetics modeling using artificial neural network was performed. Drying experiments of rough rice with 30% dry basis initial moisture content were performed at drying air temperatures of 50, 60 and 70 °C, drying air velocities of 2.3, 2.5 and 2.8 m/s and stagnant bed heights of 2.5 and 5 cm. The best artificial neural network was the feed forward back propagation network with Levenberg- Marquardt learning algorithm and tangent sigmoid activation function with 1-20-4 topology. The values of mean squared error (MSE) and determination coefficient ( $R^2$ ) were obtained as  $22.97 \times 10^{-4}$  and 0.9998, respectively. The results showed that increasing the air temperature and velocity, reduce the drying time, also, the effect of drying air temperature in reducing drying time was more higher than that of drying air velocity.

**Keywords:** Drying, Fluidized bed, Artificial neural networks, Rough rice.