



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی محتوای رطوبتی در طی فرآیند خشک کردن ذرت دانه‌ای

زهرا نورقدمی<sup>۱\*</sup>، محمدجواد شیخ داوودی<sup>۲</sup>، محمداسماعیل خراسانی فرداوی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه شهیدچمران اهواز

۲- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهیدچمران اهواز

۳- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهیدچمران اهواز

ایمیل مکاتبه کننده: [zahranorghadami@yahoo.com](mailto:zahranorghadami@yahoo.com)

### چکیده

ذرت غذای اصلی در تغذیه دام و طیور می‌باشد و برداشت آن در رطوبت بالای ۳۰ درصد انجام می‌گیرد لذا برای انبارداری مطمئن بایستی تا رطوبت ۱۳ تا ۱۴ درصد خشک شود. برای دست یافتن به چنین رطوبتی بایستی ذرت در شرایط بهینه خشک گردد. در مطالعه حاضر ذرت در ۵ سطح دمایی مختلف، ۴ ارتفاع متفاوت محصول و در سه تکرار خشک گردید. به منظور توسعه مدل مناسب برای روند خشک شدن ذرت و پیش‌بینی محتوای رطوبتی آن توسط مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، از کدنویسی در محیط نرم‌افزار متلب ۲۰۱۱ استفاده گردید. شبکه پرسپترون پس انتشار استفاده شده برای طراحی مدل شبکه عصبی، شامل سه نرون در لایه ورودی (دمای هوای ورودی، ارتفاع لایه محصول، زمان) و یک نرون در لایه خروجی (پیش‌بینی محتوای رطوبتی) بود. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با سه پارامتر دمای هوای ورودی، ارتفاع لایه محصول و زمان می‌تواند محتوای رطوبتی نهایی را پیش‌بینی کند. طبق نتایج، شبکه عصبی با الگوریتم لونیگ - مارکوارت نسبت به بقیه الگوریتم‌های آموزشی دارای ضریب همبستگی بیشتر و خطای کمتری بود. از بین توابع آستانه، تابع آستانه تانژانت سیگموئید و لگاریتم سیگموئید دارای ضریب همبستگی و خطای یکسانی بودند. بهترین ساختار برای شبکه عصبی ۱-۴-۳ بدست آمد که با در نظر گرفتن تابع کارایی (۰/۰۶۱) و ضریب همبستگی (۰/۹۶۷) نسبت به ساختارهای دیگر نتایج بهتری ارائه نمود.

واژه‌های کلیدی: ذرت، خشک کردن، محتوای رطوبتی، شبکه عصبی



## نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

### (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



#### مقدمه

ذرت به عنوان غذای اصلی در تغذیه دام و طیور استفاده می‌شود و همچنین می‌توان از آن، مواد غذایی و محصولات صنعتی مانند: نشاسته، شیرین کننده، روغن ذرت، نوشابه، الکل صنعتی، اتانول و سوخت را به دست آورد. گاهی اوقات آب و هوای نامطلوب باعث می‌شود کشاورزان ذرت را با رطوبت بالای ۳۰ درصد و زود هنگام برداشت کنند. ذرت برداشت شده در رطوبت بالا، برای جلوگیری از تنفس، جوانه زدن و هجوم حشرات به خشک شدن سریع برای ذخیره‌سازی مطمئن، نیاز دارد (گورسوی و همکاران، ۲۰۱۳). با توجه به اینکه ذرت یکی از محصولات مهم زراعی می‌باشد که برای افزایش و یا کنترل کیفیت محصول در طی انبارداری باید دارای رطوبت کم و یکنواخت باشد این محصول بایستی خشک شود. کاهش رطوبت دانه ذرت برداشت شده و رساندن آن به حد استاندارد ۱۴ درصد جهت نگهداری در انبار یک ضرورت و نیاز اساسی است. آگاهی از نحوه خشک شدن محصول منجر به کاهش مصرف انرژی و ضایعات محصول می‌گردد (رفیعی و کاشانی‌نژاد، ۱۳۸۵). یکی از اهداف کلیدی در فرآیند خشک کردن رسیدن به محتوای رطوبتی مناسب می‌باشد. از آنجائی که روش‌های متداول مانند روش‌های آماری بر پایه اصول اولیه برای پیش‌بینی فرآیند، زمان زیادی صرف می‌کند و دقت نتایج بدست آمده از آن‌ها رضایت بخش نیست لذا شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد به این علت که قدرت تأمین دقت و سرعت لازم برای پیش‌بینی فرآیند خشک کردن را دارند (فارکاس و همکاران، ۲۰۰۰). شبکه‌های عصبی مصنوعی در واقع مدل ساده شده‌ای از مغز انسان بوده که یکی از ابزارهای پیش‌بینی پدیده‌های فیزیکی است. به عناصر پردازشی فوق‌العاده به هم پیوسته که برای حل یک مسئله با هم هماهنگ عمل می‌کنند نرون (واحد، سلول یا گره) گفته می‌شود که کوچکترین واحد شبکه عصبی مصنوعی است. هر شبکه از یک لایه ورودی و یک لایه خروجی و یک یا چند لایه میانی تشکیل شده است. نرون مجموعه ورودی‌ها را به خروجی ربط می‌دهد (شریفی و همکاران، ۱۳۸۷). انواع مشهور شبکه‌های عصبی مورد استفاده عبارتند از: پرسپترون چند لایه، تابع پایه‌ای شعاعی و شبکه‌های عصبی بازگشت کننده. در مقایسه با مدل‌های آماری و رگرسیون خطی، این روش مقادیر پیش‌بینی شده را ملزم به قرارگیری در اطراف میانگین نکرده و به همین دلیل تغییرپذیری واقعی داده را حفظ می‌کند. شبکه عصبی برای داده‌های به هم پیچیده و مبهم جواب معنی‌دار استخراج می‌کند. با توجه به اینکه شبکه‌های عصبی از دو ویژگی اساسی یادگیری (قدرت و توانایی تعمیم‌پذیری) و ساختارپذیری موازی (نرون‌هایی که در یک تراز قرار می‌گیرند می‌توانند به طور همزمان به ورودی‌های آن تراز پاسخ دهند که این ویژگی باعث افزایش سرعت پردازش می‌شود) برخوردار هستند، این شبکه‌ها برای مسائل کنترل، به‌ویژه سیستم‌های پیچیده که مدل‌سازی این سیستم‌ها یا میسر نیست و یا به سختی انجام می‌شود، بسیار مناسب هستند. در شبکه عصبی ساده، پرسپترون برداری از ورودی‌ها را دریافت می‌کند، ترکیب خطی از این ورودی‌ها را محاسبه می‌کند، سپس اگر حاصل از یک مقدار آستانه بیشتر بود خروجی پرسپترون برابر یک در غیر اینصورت منفی یک خواهد بود. خروجی پرسپترون توسط رابطه زیر مشخص می‌شود:



## نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

### مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



$$Y_i = \text{Activation Function}(\sum_{j=1}^n x_j w_j) \quad (1)$$

$$\begin{cases} 1 & \text{if } w_0 + w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n > 0 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$X_1$  تا  $X_n$  معادل سیگنال‌های ورودی و  $W_1$  تا  $W_n$  معادل وزن‌های شبکه می‌باشند. یادگیری پرسپترون یعنی پیدا کردن مقادیر درستی برای ماتریس وزن ( $W$ ) (گراو و همکاران، ۲۰۰۷). داده‌ها برای ساخت شبکه عصبی مصنوعی به سه سری داده‌های آموزش، تست و ارزیابی شبکه تقسیم می‌شوند. در حدود هشتاد درصد داده‌ها صرف آموزش و مابقی برای ارزیابی و تست شبکه به کار گرفته می‌شود. در طی فرآیند یادگیری، میزان فراگیری شبکه توسط معیارهای خطا و دقت شبکه به طور مرتب سنجیده شده و در نهایت شبکه‌ای مورد پذیرش قرار می‌گیرد که کمترین خطا و بیشترین دقت را دارا باشد (شریفی و همکاران، ۱۳۸۷). برای مدل‌سازی پارامترهای مختلف خشک کردن توسط شبکه عصبی مصنوعی، محققین پژوهش‌های متعددی ارائه نموده‌اند که به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد:

شایگانی و همکاران (۱۳۸۹) روی توسعه مدل پیش‌بینی زمان خشک شدن موز در طی فرآیند خشک کردن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی کار کردند. در این پژوهش خشک‌کن آزمایشگاهی با سینی ثابت مورد استفاده قرار گرفته است و اثر عوامل تأثیرگذار دمای هوا در سه سطح (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس)، سرعت هوا در سه سطح (۰، ۱ و ۲ متر بر ثانیه)، ضخامت ورقه‌ها در دو سطح (۳ و ۶ میلی‌متر)، رقم در سه سطح و رطوبت نهایی محصول بر تغییرات زمان خشک شدن استفاده شده است. ورودی‌های شبکه عصبی عبارت بودند از: رقم، دمای هوای ورودی، سرعت هوای ورودی، ضخامت و محتوای رطوبتی و خروجی شبکه، زمان خشک شدن محصول بوده است. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت با ساختار ۱-۱۴-۱۶-۵ با تابع آستانه سیگموئید لگاریتمی در مقایسه با ساختارهای دیگر نتایج بهتری ارائه کرده است. این ساختار تغییرات زمان خشک شدن موز را با ضریب تبیین ۰/۹۹۸۶ پیش‌بینی کرده است.

بهریزی خزایی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای پیش‌بینی محتوای رطوبتی انگور در طی خشک کردن با جریان هوای گرم را به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از خشک‌کن آزمایشگاهی با جریان هوای اجباری استفاده شده است. سه عامل دمای هوای ورودی (در سه سطح ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس)، سرعت هوای ورودی (در چهار سطح ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ متر بر ثانیه) و زمان اجرای آزمایش‌ها، ورودی‌های شبکه عصبی و نسبت تغییرات محتوای رطوبتی خروجی شبکه بوده است. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با تأخیر زمانی (TDNN) با الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت با ساختار ۱-۸-۳ با تابع آستانه سیگموئید لگاریتمی کمترین خطای آموزشی (۰/۰۰۰۱۲) را نسبت به ساختارهای دیگر ارائه کرده است. این ساختار تغییرات محتوای رطوبتی را با ضریب تعیین ۰/۹۹۷۹ پیش‌بینی نمود.

توحیدی و همکاران (۲۰۱۰) بر روی سینتیک خشک کردن شلتوک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی کار کردند. هدف از این مطالعه پیش‌بینی روند خشک کردن شلتوک در خشک‌کن آزمایشگاهی بستر ثابت بوده است. تیمارهای



## نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

### مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



مورد استفاده در این تحقیق دمای هوای ورودی (۴۰، ۵۰، ۵۵، ۶۰، ۶۵، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس)، سرعت هوای ورودی (۰/۵، ۰/۸ و ۱/۱ متر بر ثانیه) و رطوبت نسبی هوا (۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد) بود که به‌عنوان ورودی‌های شبکه عصبی در نظر گرفته شدند. رطوبت اولیه شلتوک ۲۰/۴ درصد بر پایه تر محاسبه شد. نتایج نشان داده است که بهترین مدل برای توصیف سینتیک خشک کردن شلتوک، شبکه عصبی با الگوریتم یادگیری لونیگ-مارکوارت با توپولوژی ۱-۱۵-۴ و تابع فعالسازی تانژانت هاپربولیک می‌باشد. تابع فعالسازی هاپربولیک عملکرد بهتری در مقایسه با دیگر توپولوژی‌ها داشته است. این توپولوژی سینتیک خشک کردن را با میانگین مربعات خطای کمتر از ۰/۰۰۰۷۹ و ضریب همبستگی ۰/۹۹۶ پیش‌بینی کرد.

### مواد و روش‌ها

#### خشک‌کن آزمایشگاهی و تجهیزات مورد استفاده

برای انجام آزمایش‌ها یک دستگاه خشک‌کن مخزنی بستر ثابت با جریان هوای گرم مورد استفاده قرار گرفت که در گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز ساخته شد (نورقدمی، ۱۳۹۳). شکل ۱ طرحواره‌ای از خشک‌کن مورد استفاده و شکل ۲ تصویری از آن را نشان می‌دهد. این خشک‌کن دارای قسمت‌های مختلفی می‌باشد که کار هر یک به اختصار بیان می‌شود: یک دمنده برای ایجاد جریان هوا و یک لوله که هوای تولید شده توسط دمنده را به سمت گرم‌کن‌ها انتقال می‌دهد، دو واحد گرم‌کننده نیز برای گرم کردن هوای ورودی استفاده شده است که هر واحد گرم‌کن دارای ۴ المنت حرارتی (هر کدام با توان ۷۵۰ وات) است و برای اینکه بر حسب دمای مورد نظر میزان جریان عبوری از المنت‌ها یکسان باشد هر کدام توسط یک دیمر روشن و جریان آن‌ها تنظیم می‌شود. یکی از گرم‌کن‌ها اصلی است و از آغاز تا پایان آزمایش روشن می‌باشد و دیگری گرم‌کن جانبی است که المنت‌های آن توسط دو عدد دیمر کنترل می‌گردد در صورتی که دما از محدوده‌ی تنظیم شده پایین‌تر آید گرم‌کن جانبی از طریق یک حس‌گر دمایی از نوع ترموکوپل (با دقت  $\pm 1^\circ\text{C}$ ) که به یک کنتاکتور فرمان می‌دهد وارد مدار شده و دما را به دمای تنظیم شده می‌رساند و به محض رسیدن دما به دمای تنظیم شده، جریان گرم‌کن جانبی توسط فرمان ترموکوپل به کنتاکتور قطع و از مدار خارج می‌شود، ترموکوپل برای تنظیم، کنترل و نمایش دما مورد استفاده قرار گرفت علاوه بر ترموکوپل یک دماسنج الکلی نیز برای نشان دادن دما و کنترل کار ترموکوپل در طرف دیگر دستگاه خشک‌کن (قبل از مخزن دانه) تعبیه گردید. همچنین از خطی‌کننده جریان هوا برای یکنواخت شدن سرعت هوای گرم ورودی در سطح مقطع مخزن خشک‌کن استفاده شد، ارتفاع مخزن لوله‌ای ۸۷ سانتی‌متر با ضخامت دیواره ۸ میلی‌متر و قطر داخلی ۶۵ میلی‌متر انتخاب شده و مجموعه‌ی دستگاه (به استثنای دمنده) شامل مخزن حاوی دانه و حرارت‌دهنده‌ها روی ترازوی دیجیتال Furi با دقت پنج گرم قرار داده شد تا بتوان کاهش رطوبت و در نتیجه کاهش وزن را در طول آزمایش‌ها به‌طور پیوسته قرائت نمود (این میزان دقت برای خشک‌کن مورد آزمایش کافی است چون برای هر آزمایش وزن محصول بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ گرم بود و حداکثر ظرفیت ترازو ۵۰



## نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

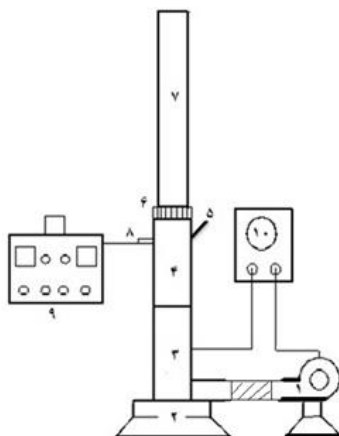
### (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



کیلوگرم می‌باشد). از یک کنتور برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی مصرفی برای کار دمنده و همچنین گرم‌کننده‌ها استفاده شد. جهت کاهش اتلاف حرارتی در خشک‌کن، قسمت‌هایی از آن که در معرض انتقال حرارت بود با پشم شیشه پوشانده و عایق‌کاری شد.



شکل ۱: طرحواره خشک‌کن مورد استفاده

- ۱- دمنده، ۲- ترازوی دیجیتال، ۳- گرم‌کن اصلی، ۴- گرم‌کن جانبی، ۵- دماسنج الکلی، ۶- خطی‌کننده جریان هوا، ۷- مخزن دانه، ۸- ترموکوپل، ۹- نمایشگر دما، ۱۰- کنتور



شکل ۲: تصویری از خشک‌کن مورد استفاده

### تعیین محتوای رطوبتی نمونه‌ها

برای انجام آزمایش‌ها از ذرت دانه‌ای، رقم NS640 استفاده شد که از شهرستان دزفول استان خوزستان تهیه گردید. دانه‌های ذرت مورد استفاده برای آزمایش درون کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند که هیچ‌گونه تبادل رطوبتی با محیط نداشته باشند سپس برای جلوگیری از کاهش رطوبت و فساد، دانه‌ها در سردخانه با دمای ۶ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی هوای ۹۰-۶۰ درصد نگهداری شدند. قبل از شروع هر آزمایش، نمونه‌ها به روش دستی بوجاری شده و گاه و کلاه و سنگ، خاک و مواد خارجی از آن حذف گردید. سپس درون اتاق آزمایشگاه قرار گرفت تا با دمای



## نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

### مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



محیط به تعادل برسد. پس از روشن کردن دستگاه، تا رسیدن به شرایط پایدار ۳۰ دقیقه صبر کرده سپس آزمایش‌ها انجام می‌شد. آزمایش‌ها در پنج سطح دمایی ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه سلسیوس و در ۴ سطح ارتفاع ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متر و هر آزمایش در سه تکرار انجام گرفت. رطوبت نسبی هوای محیط بین ۵۰ تا ۶۰ درصد و دمای هوای محیط از ۱۶ تا ۲۰ درجه سلسیوس برای تمامی آزمایش‌ها متغیر بود. رطوبت اولیه دانه‌های ذرت بین ۳۳ تا ۴۱ درصد بر پایه خشک متغیر بود و خشک کردن دانه‌ها تا رسیدن به محتوای رطوبتی ۱۴ درصد بر پایه خشک ادامه داشت میزان رطوبت اولیه نمونه‌ها، به این صورت به دست آمد که ۱۰۰ گرم نمونه مرطوب در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت درون آن قرار داده شد (بی نام، ۱۹۸۲). فرآیند خشک شدن تا رسیدن رطوبت دانه‌ها به وزن خشک محصول ادامه داشت. با داشتن وزن اولیه و وزن خشک نمونه‌ها، رطوبت اولیه دانه‌های ذرت بر پایه خشک با استفاده از رابطه ۲ تعیین گردید.

$$MC_D = \frac{G_W - G_D}{G_D} \times 100 \quad (2)$$

MC<sub>D</sub>: محتوای رطوبتی بر پایه خشک

G<sub>W</sub>: مقدار جرم تر محصول بر حسب کیلوگرم

G<sub>D</sub>: مقدار جرم خشک محصول بر حسب کیلوگرم

### طراحی مدل شبکه‌های عصبی

در پژوهش حاضر، برای طراحی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، به منظور توسعه پیش‌بینی محتوای رطوبتی برای خشک کردن ذرت و ارائه مدل مناسب برای روند خشک شدن به کمک شبکه عصبی، از نرم‌افزار متلب ۲۰۱۱ استفاده گردیده است. این نرم‌افزار برای انجام محاسبات ریاضی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در راستای تهیه مدل به زبان برنامه‌نویسی متلب، ابتدا به وسیله داده‌های جمع‌آوری شده، شبکه عصبی پرسپترون با نحوه‌ی آموزش پس انتشار خطا طراحی گردید. جهت رسیدن به بهترین مدل، باید برای هر بخش از شبکه با توجه به ماهیت داده‌ها با سعی و خطا، بهترین ساختار را استخراج کرد، به همین علت ساختارهای متفاوت با هم مورد مقایسه قرار گرفتند. در این تحقیق شبکه پرسپترون استفاده شده برای طراحی مدل شبکه‌های عصبی، شامل سه نرون در لایه ورودی (دمای هوای ورودی، ارتفاع لایه محصول، زمان) و یک نرون در لایه خروجی (پیش‌بینی محتوای رطوبتی) بود. در مرحله تشخیص تعداد مناسب لایه‌های پنهان از روش آزمون و خطا استفاده گردید. برای تعیین تعداد نرون در لایه میانی یا لایه پنهان، با تغییر تعداد نرون‌ها و مقایسه ضریب همبستگی ( $R^2$ )، ساختار مطلوب تعیین شد. پس از تعیین ساختار مناسب ترکیباتی از توابع انتقال بین لایه‌ها استفاده گردید و ساختارهای متفاوتی ایجاد شد و در نهایت شبکه‌ای مورد پذیرش قرار گرفت که بیشترین ضریب همبستگی و کمترین میانگین مربعات خطا را داشته باشد.

ضریب همبستگی و معیار خطای مربعات میانگین نیز طبق روابط زیر محاسبه می‌گردند:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{p=1}^M \sum_{i=1}^N (S_{ip} - T_{ip})^2}{\sum_{p=1}^M \sum_{i=1}^N (S_{ip} + T_{ip})^2} \quad (3)$$



## نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

### (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



$$MSE = \frac{\sum_{p=1}^M \sum_{i=1}^N (S_{ip} - T_{ip})^2}{NP} \quad (4)$$

که در آن  $R^2$  ضریب همبستگی و MSE میانگین مربع خطا در مرحله آموزش،  $S_{ip}$  خروجی شبکه در نرون  $i$ ام و الگوی  $p$ ام،  $T_{ip}$  خروجی مطلوب در نرون  $i$ ام و الگوی  $p$ ام،  $N$  تعداد نرون‌های خارجی و  $M$  تعداد الگوهای آموزشی است. از جمله توابع آستانه مورد استفاده در این تحقیق، برای یافتن حالت بهینه شبکه‌ها، توابع تانژانت سیگموئید (رابطه ۵) و لگاریتم سیگموئید (رابطه ۶) می‌باشد؛ که عبارتند از:

$$Y_i = \frac{1}{1 + \exp(x_i)} \quad (5)$$

$$Y_i = \frac{2}{(1 + \exp(-2x_i)) - 1} \quad (6)$$

به منظور بررسی و ارزیابی شبکه‌های مختلف، داده‌ها به سه قسمت تقسیم شدند: آموزش، ارزیابی و تست شبکه. ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد برای ارزیابی و ۱۵ درصد برای تست شبکه مورد استفاده قرار گرفت. برای پیدا کردن بهترین پیش‌بینی، شبکه‌های مختلفی بر داده‌های مذکور اعمال شدند. پارامترهایی مانند نوع الگوریتم یادگیری، تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌ها در لایه پنهان، در طی فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی، با توجه به مرور منابع و مقایسه عملکرد شبکه‌های مختلف به روش سیستماتیک تعیین گردید.

## نتایج و بحث

### اثر دما و ارتفاع بر تغییرات محتوای رطوبتی

در شکل ۳، سینتیک خشک شدن به ازای تغییرات ارتفاع و در دمای ۹۰ درجه سلسیوس به عنوان نمونه ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با افزایش ارتفاع لایه محصول، نرخ تبخیر کاهش یافته و شیب نمودار (زمان-محتوای رطوبتی) کندتر شده است. در شکل ۴، تغییرات محتوای رطوبتی برای ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری به عنوان نمونه آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با افزایش دمای خشک کردن، نرخ تبخیر افزایش یافته و شیب نمودار (زمان-محتوای رطوبتی) تندتر شده است. دلیل این مسئله تأثیر دما بر افزایش سرعت خروج رطوبت از دانه می‌باشد. افزایش دما موجب تسریع آهنگ خشک شدن گردیده لذا زمان خشک شدن کاهش یافته است.

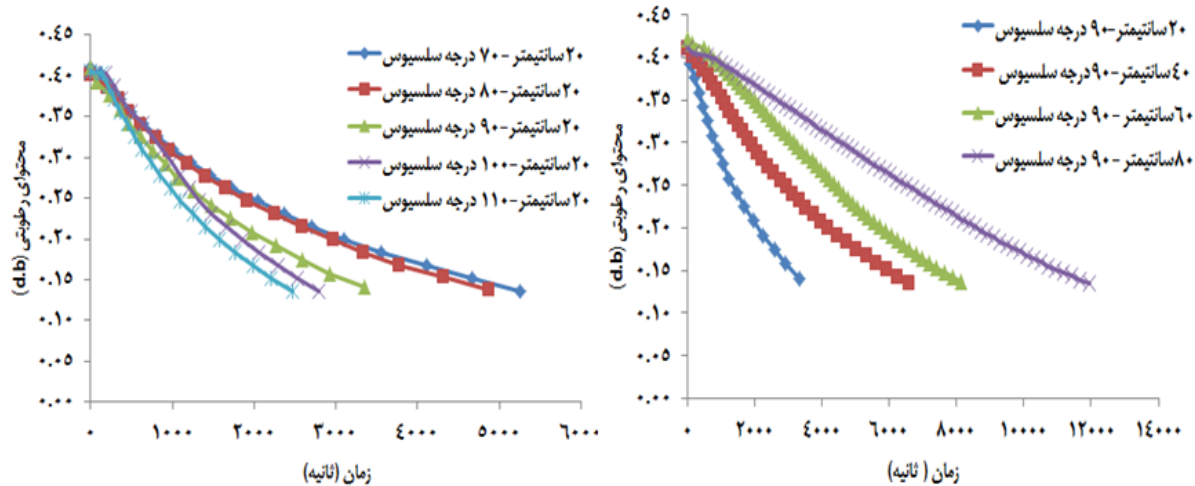


# نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

## (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



شکل ۳: اثر تغییرات ارتفاع بر تغییرات محتوای رطوبتی  
شکل ۴: اثر تغییرات دما بر تغییرات محتوای رطوبتی

نتایج حاصل از مقایسه این الگوریتم‌ها برای آموزش شبکه به طور مثال با ۱۰ نرون در لایه پنهان در جدول ۱ و با ۱۵ نرون در لایه پنهان در جدول ۲ آمده است. لازم به ذکر است که داده‌های جداول ۱، ۲ و ۳ میانگین ۳ تکرار برای شبکه عصبی می‌باشد. همان‌طوری که مشاهده می‌گردد با در نظر گرفتن تعداد نرون و تابع انتقال یکسان برای همه الگوریتم‌ها، الگوریتم لونبرگ-مارکوارت دارای خطای پایین‌تر و ضریب همبستگی بیشتری است.

جدول ۱: نتایج حاصل از به‌کارگیری الگوریتم‌های متفاوت با توپولوژی ۱-۱۰-۳ در شبکه FFBP

ضریب همبستگی			خطا	تعداد نرون	تابع انتقال	الگوریتم
تست	ارزیابی	آموزش				
۰/۹۷۰	۰/۹۷۱	۰/۹۶۸	۰/۰۵۶	۱۰	Tansig	Lm
۰/۹۶۵	۰/۹۶۳	۰/۹۶۵	۰/۰۷۲	۱۰	Tansig	Bfg
۰/۹۶۳	۰/۹۶۶	۰/۹۶۲	۰/۰۶۷	۱۰	Tansig	Cgb
۰/۹۵۶	۰/۹۶۰	۰/۹۵۹	۰/۰۷۲	۱۰	Tansig	Cgp
۰/۸۷۹	۰/۸۸۲	۰/۸۷۹	۰/۰۲۲	۱۰	Tansig	Gdx
۰/۹۵۳	۰/۹۵۳	۰/۹۵۵	۰/۰۹۳	۱۰	Tansig	Oss
۰/۹۶۳	۰/۹۶۳	۰/۹۶۳	۰/۰۷۲	۱۰	Tansig	Rp
۰/۹۶۲	۰/۹۶۱	۰/۹۶۰	۰/۰۷۶	۱۰	Tansig	Scg
۰/۹۶۴	۰/۹۶۶	۰/۹۶۲	۰/۰۶۴	۱۰	Tansig	Cgf





## نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

### مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

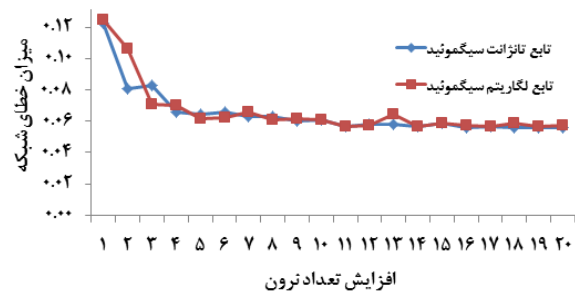
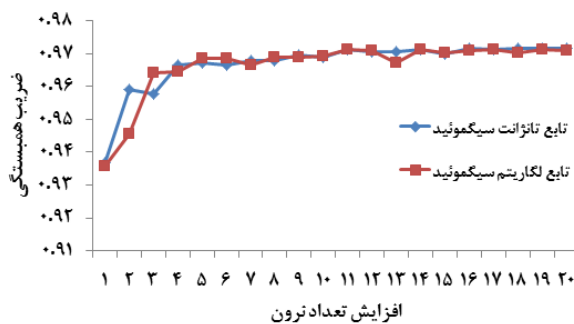
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



جدول ۲: نتایج حاصل از به‌کارگیری الگوریتم‌های متفاوت با توپولوژی ۱-۱۵-۳ در شبکه FFBP

الگوریتم	تابع انتقال	تعداد نرون	ضریب همبستگی		
			خطا	آموزش	ارزیابی تست
Lm	Tansig	۱۵	۰/۰۵۸	۰/۹۷۰	۰/۹۷۰
Bfg	Tansig	۱۵	۰/۰۶۲	۰/۹۶۶	۰/۹۶۸
Cgb	Tansig	۱۵	۰/۰۷۲	۰/۹۶۵	۰/۹۵۹
Cgp	Tansig	۱۵	۰/۰۷۷	۰/۹۶۱	۰/۹۵۸
Gdx	Tansig	۱۵	۰/۰۸۸	۰/۷۷۷	۰/۸۰۴
Oss	Tansig	۱۵	۰/۰۷۰	۰/۹۶۴	۰/۹۶۳
Rp	Tansig	۱۵	۰/۰۶۷	۰/۹۶۴	۰/۹۶۳
Scg	Tansig	۱۵	۰/۰۸۰	۰/۹۶۰	۰/۹۵۹
Cgf	Tansig	۱۵	۰/۰۷۳	۰/۹۶۱	۰/۹۵۷

شکل ۵ مقایسه میزان خطا و شکل ۶ ضریب همبستگی شبکه عصبی با الگوریتم آموزش لونیبرگ - مارکواریت و با به‌کارگیری توابع آستانه تانزانت سیگموئید و لگاریتم سیگموئید را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان خطا و ضریب همبستگی برای دو تابع تانزانت سیگموئید و لگاریتم سیگموئید دارای روند مشابهی است که با افزایش تعداد نرون‌ها مقدار ضریب همبستگی در حال افزایش و میزان خطا در حال کاهش می‌باشد.



شکل ۶: مقایسه ضریب همبستگی توابع آستانه سیگموئیدی

شکل ۵: مقایسه میزان خطای شبکه توابع آستانه سیگموئیدی

بعد از تعیین تابع آستانه و الگوریتم آموزش مناسب، در مرحله بعدی شبکه را به صورتی که دارای دو لایه پنهان باشد تشکیل داده و میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی هر دو ساختار با هم مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین در این مقایسه تعداد نرون در لایه‌های پنهان به طور تصادفی تغییر داده شد تا بهترین ساختار مشخص گردد. نتایج حاصل از مقایسه ساختارهای مختلف در جدول ۳ آمده است.



## نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

### (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



جدول ۳: عملکرد شبکه در پیش‌بینی مدت زمان خشک کردن برای آرایش‌های مختلف در لایه پنهان

توپولوژی	خطا	ضریب همبستگی		
		آموزش	ارزیابی	تست
۳-۲-۱	۰/۰۹۴	۰/۹۵۰	۰/۹۵۰	۰/۹۵۵
۳-۳-۱	۰/۰۷۴	۰/۹۶۲	۰/۹۶۱	۰/۹۵۹
۳-۴-۱	۰/۰۶۱	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۰/۹۶۸
۳-۵-۱	۰/۰۵۹	۰/۹۶۶	۰/۹۶۸	۰/۹۶۵
۳-۱۰-۱	۰/۰۵۶	۰/۹۶۸	۰/۹۷۱	۰/۹۷۰
۳-۱۵-۱	۰/۰۵۸	۰/۹۷۰	۰/۹۶۹	۰/۹۷۰
۳-۲۰-۱	۰/۰۵۶	۰/۹۷۰	۰/۹۷۰	۰/۹۶۶
۳-۲-۲-۱	۰/۱۲۶	۰/۹۳۵	۰/۹۳۴	۰/۹۴۱
۳-۵-۲-۱	۰/۰۶۳	۰/۹۶۴	۰/۹۶۵	۰/۹۶۳
۳-۵-۵-۱	۰/۰۵۸	۰/۹۷۰	۰/۹۶۹	۰/۹۶۷
۳-۱۰-۵-۱	۰/۰۶۰	۰/۹۷۲	۰/۹۷۰	۰/۹۶۸
۳-۱۰-۱۰-۱	۰/۰۶۱	۰/۹۷۱	۰/۹۶۹	۰/۹۶۶
۳-۱۵-۵-۱	۰/۰۵۸	۰/۹۷۲	۰/۹۶۹	۰/۹۶۸
۳-۱۵-۱۰-۱	۰/۰۵۵	۰/۹۷۱	۰/۹۷۰	۰/۹۶۹

همان‌طور که مشاهده می‌شود ساختار شبکه عصبی با دو لایه پنهان تفاوت زیادی با ساختار تک لایه از لحاظ ضریب همبستگی و میزان خطای شبکه ندارد لذا همیشه ساختاری انتخاب می‌شود که پیچیدگی کمتری داشته باشد. برای انتخاب تعداد مناسب نرون در لایه پنهان از تجزیه و تحلیل آماری به صورت مقایسه میانگین و به کمک آزمون دانکن استفاده شده است. (۲۰ سطح در سه تکرار برای نرون‌ها در نظر گرفته شد) نتایج حاصل از تجزیه واریانس در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴: تجزیه واریانس تأثیر تعداد نرون بر ضریب همبستگی

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۲۷/۴۱**	۰/۰۰	۱۹	تعداد نرون
	۰/۰۰۰۰۰۰۷۱۰۳	۴۰	خطا
	۰/۰۰۰۰۰۰۷۱۰۳	۵۹	کل

\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪



## نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

### (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

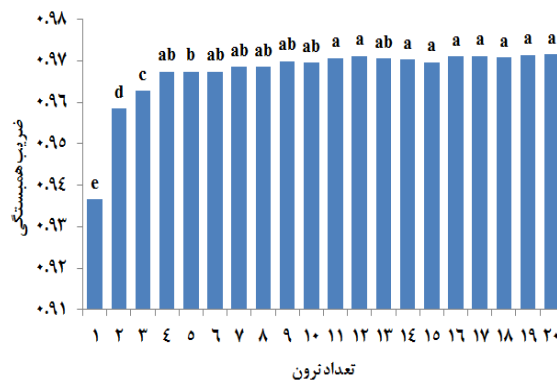
پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



از تجزیه و تحلیل به دست آمده نتیجه گیری می‌شود که تغییر پارامتر تعداد نرون در لایه پنهان اثر بسیار معنی داری در سطح احتمال ۱٪ بر ضریب همبستگی شبکه دارد.

در شکل ۷ با توجه به مقایسه میانگین‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد نرون در لایه پنهان، ضریب همبستگی افزایش می‌یابد و بین ۴ نرون تا ۲۰ نرون در لایه پنهان تفاوت معناداری وجود ندارد و به دلیل اینکه هر چه تعداد نرون در لایه پنهان زیادتر باشد شبکه پیچیده‌تر می‌شود لذا در این بررسی ۴ نرون در لایه پنهان به عنوان کمترین تعداد نرون بهینه استفاده شده است. نتایج این پژوهش با مطالعه توحیدی و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد.



شکل ۷: تأثیر تعداد نرون بر ضریب همبستگی شبکه

در این پژوهش برای تعیین تعداد نرون در لایه پنهان و استخراج وزن‌ها و بایاس‌های شبکه، سعی شد از پارامتر ضریب همبستگی استفاده شود. در اینجا ماتریس وزن برای لایه ورودی به لایه پنهان برای ۴ نرون در لایه پنهان به صورت یک ماتریس ۳×۴ (اتصال سه نرون لایه ورودی به چهار نرون لایه پنهان) (ماتریس A) و ماتریس وزن برای لایه پنهان به لایه خروجی به صورت یک ماتریس ۴×۱ (اتصال چهار نرون لایه پنهان به یک نرون لایه خروجی) (ماتریس B) آورده شده است. ماتریس‌های بایاس برای لایه ورودی به لایه پنهان و لایه پنهان به لایه خروجی به ترتیب به صورت ماتریس‌های C و D خواهند بود.

$$A = \begin{bmatrix} 6.12 & -0.01 & -0.76 \\ -0.65 & 0.57 & 0.23 \\ -4.16 & 0.071 & -4.20 \\ 0.53 & -9.28 & 6.23 \end{bmatrix}$$

$$B = [6.74 \quad -1.44 \quad -3.59 \quad -1.43]$$

$$C = \begin{bmatrix} -2.71 \\ 1.23 \\ -3.81 \\ 6.13 \end{bmatrix} \quad D = [6.48]$$

### نتیجه گیری

شبکه عصبی مصنوعی با سه پارامتر دمای هوای ورودی، ارتفاع لایه محصول و زمان انجام آزمایش می‌تواند محتوای رطوبتی برای خشک کردن را پیش‌بینی کند و شبکه عصبی با الگوریتم لونیبرگ - مارکواریت نسبت به بقیه الگوریتم‌های



## نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

### (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



آموزشی دارای ضریب همبستگی بیشتر و خطای کمتری بود و از بین توابع آستانه نیز تابع آستانه تانزانانت سیگموئید و لگاریتم سیگموئید دارای ضریب همبستگی خطای یکسانی بودند. در بین ساختارهای مختلف یک و دو لایه پنهان تفاوت قابل توجهی مشاهده نگردید بنابراین ساختار یک لایه با چهار نرون در لایه پنهان به علت سادگی در اجرا مورد پذیرش قرار گرفت.

### مراجع

۱. بهروزی خزایی، ن.، توکلی، ت.، امیری چایجان، ر. و خوش تقاضا، م.ه. ۱۳۸۷. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی محتوای رطوبتی در طی فرآیند خشک کردن انگور. پنجمین کنگره مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون.
۲. رفیعی، ش. و کاشانی‌نژاد، م. ۱۳۸۵. مدل خشک شدن توده بستر نازک ذرت (رقم ۷۰۴). چهارمین کنگره ملی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون.
۳. شایگانی سلطان‌پور، ع.ر.، گل محمدی، ع.، فره‌پور، ف.، خلیفه، ع.ا. ۱۳۸۹. توسعه مدل پیش‌بینی زمان خشک شدن موز در طی فرآیند خشک کردن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۴. شریفی، م.، رفیعی، ش.، کیهانی، ع.ر.، امید، م. ۱۳۸۷. شبیه‌سازی مدل سینتیک خشک شدن بستر نازک پرتقال رقم تامسون با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۷: ۳۹-۴۹.
۵. نورقدمی، ز. ۱۳۹۳. ارائه مدل سینتیک خشک کردن ذرت در خشک‌کن مخزنی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بهینه‌سازی شده بوسیله الگوریتم ژنتیک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهیدچمران اهواز.

6. Anonymous, ASAE. 1982. Moisture Measurement: Grain and seeds. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI 49085, USA.
7. Farkas, I., Reményi, P., & BirÓ, B., 2000. A neural network topology for modeling grain drying. Computers and Electronics in Agriculture. 26: 147-158.
8. Graupe, D., 2007. Principles of artificial neural networks. University of Illinois, Chicago, USA. Advanced Series on Circuits and Systems. 6: 17-26.
9. Gursoy, S., Choudhary, R. & Watson, D.G., 2013. Microwave drying kinetics and quality characteristics of corn. Int J Agric & Biol Eng. 6: 90-99.
10. Tohidi, M., Sadeghi, M. & Mousavi, S.R., 2010. Modeling of Rough Rice drying kinetics using Artificial Neural Network. XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural And Biosystems Engineering (CIGR).



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## Application of artificial neural network in prediction of moisture content during maize drying process.

### Abstract

maize is the main food for livestock and birds nutrition and as it is harvested in moisture content upper than 30%, so for a safe storage, it must be dried down to 13-14 % dry basis moisture content. To obtain this, the maize must be dried in an optimized condition. In this study, drying process is done in 5 temperature levels, 4 different height and 3 repetition. MATLAB software is used in order to develop the artificial neural network design model to predict the maize moisture content during dry process. A multi-layer Preceptron neural network Back Propagation with learning algorithm Levenberg-Marquardt for patterns training to predict moisture changes with time during the drying process was used. The model consists of 3 neurons in the Input layer (intake air temperature, maze-height, time) and one neuron in the output layer (moisture content prediction). Results showed that the model can predict the Final moisture conten. Levenberg-Marquardt learning algorithm has more correlation coefficient and less mistake than other deductive algorithms. Sigmoid tangent threshold function and sigmoid logarithm had the same correlation coefficient and mistake among threshold functions. In General, the results indicated that the best neural network structure 3-4-1 presented better results than other structures considering performance function(0.061) and correlation coefficient (0.967).

**Keywords:** maize, drying - moisture content – neural network