



## مطالعه و مدل‌سازی فرآیند جذب رطوبت دانه جو

سید مجتبی شفاعی<sup>۱</sup>، معین کمالی<sup>۲</sup> و مسلم نامجو<sup>۳\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه شیراز. کد پستی: ۶۵۱۸۶-۷۱۴۴۱

۲- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه شهید باهنر کرمان. کد پستی: ۱۴۱۱۱-۷۶۱۶۹

۳- مربی و عضو هیات علمی بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه جیرفت. کد پستی: ۶۱۱۶۷-۷۸۶۷۱

\*پست الکترونیکی مکاتبه کننده: moslem.namjoo@ujiroft.ac.ir

### چکیده

در این تحقیق پیش‌بینی مقدار جذب رطوبت سه رقم جو (ریحان<sup>۳</sup>، فجر و MB862) در فرآیند غوطه‌وری با استفاده از مدل ریاضی و شبکه عصبی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در سه دمای ۱۰، ۲۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد و در سه تکرار برای هر نمونه با آب مقطر انجام شد. مقدار جذب رطوبت دانه‌ها با اندازه‌گیری تغییر وزن دانه‌ها محاسبه گردید. از مدل ویسکوالاستیک که توانایی خوبی در تحلیل فاز اول و دوم جذب رطوبت در فرآیند خیس‌اندن محصولات کشاورزی را دارد، استفاده گردید. در طراحی شبکه عصبی از دو روش پرسپترون چند لایه (MLP) و تابع شعاع مبنا (RBF) با سه لایه نورون استفاده شد. لایه اول، لایه ورودی که متغیرهای مستقل دما و زمان و لایه دوم، لایه‌های مخفی شبکه و لایه سوم، لایه خروجی که متغیر وابسته محتوای رطوبتی می‌باشد، انتخاب گردید. به منظور اعتبار سنجی پیش‌بینی مدل ویسکوالاستیک و شبکه عصبی به ترتیب از شاخص‌های آماری بیشترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. نتایج نشان داد که روش پرسپترون چند لایه به دلیل ساختار یادگیری پس از انتشار خطا، با الگوریتم BFGS و ساختار شبکه ۱-۴-۲ بهترین نتایج را برای هر سه رقم جو در مقابل مدل ریاضی ویسکوالاستیک حاصل نمود. ترسیم نمودارهای سه بعدی محتوای رطوبت لحظه‌ای بر پایه متغیرهای دما و زمان بر اساس پیش‌بینی شبکه عصبی انتخاب شده برای هر سه رقم وارسته آزمایشی نشان داد که با افزایش دما و زمان غوطه‌وری، رطوبت جذب شده افزایش یافت. کلمات کلیدی: الگوریتم آموزش، پرسپترون چند لایه، تابع شعاع مبنا، غوطه‌وری، محتوای رطوبت.

### مقدمه

دانه جو یکی از غلات مهم در سراسر جهان است که به دلیل داشتن نشاسته قابل هضم بالا به عنوان یک منبع اصلی از



جیره غذایی دام به کار می‌رود. نشاسته اصلی ترین قسمت دانه جو است که با میزان پروتئین آن نسبت عکس دارد. کل ماده غذایی قابل هضم دانه جو ۸۰ تا ۸۴ درصد ماده خشک آن است. یکی از روش‌های ساده و ارزان فرآوری که در اکثر گاوداری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد آسیاب کردن دانه جو است (Hunt, 1996). در این روش با آسیاب کردن دانه جو، مقداری از مواد غذایی به صورت گرد و غبار هدر می‌رود و آسیاب کردن باعث می‌شود تا قسمتی از جو بیش از حد نیاز خرد شود و به صورت آرد در آید. این ذرات ریز در شکمبه زود تر از ذرات درشت تخمیر می‌شوند و باعث افزایش اسیدهای چرب فرار در شکمبه می‌شوند که این امر کاهش PH شکمبه را به همراه دارد و به دنبال آن اختلالات متابولیکی نظیر اسیدوز را موجب می‌گردد. همچنین به کاهش هضم فیبرها می‌انجامد. به همین دلایل از روش فرآوری جو غلتک بخاری استفاده می‌گردد که به دلیل گران بودن سیستم بخاردهی (دیگ بخار)، محققین به دنبال روش جایگزینی مانند خیساندن به همراه حرارت‌دهی می‌باشند (Yang et al., 2000)

از مهمترین و عمومی‌ترین مدل‌های ریاضی که برای مدلسازی فرآیند جذب رطوبت محصولات کشاورزی استفاده شده‌اند، می‌توان مدل پیچ، ویبول، دو جمله‌ای، لگاریتمی و پلگ را نام برد. بررسی‌ها نشان دادند که این مدل‌ها دقت قابل قبولی برای تحلیل فرآیند خشک شدن و جذب رطوبت بسیاری از محصولات کشاورزی داشته‌اند (Abu-Ghannam and McKenna, 1997). برخی از محققین فرآیند جذب رطوبت دانه‌های لوبیا را با ۱۴ مدل ریاضی مدلسازی نموده و دریافته‌اند مدل ویبول بیشترین همخوانی را با تغییرات داده‌های آزمایشی دارد (Shafaei and Masoumi, 2013c).

#### مشاهدات نشان داده

شدن می‌باشند. فاز دوم خشک شدن معمولاً فاز ریلکسیشن نامیده می‌شود. مشابه این رفتار در فرآیند خشک کردن مواد کشاورزی دیده شده است. مشکل عمده همه مدل نمی‌دهند. در حقیقت ضرایب در مدل‌های پیچ، نمایی با دو جمله‌ای و لگاریتمی و غیره تنها معیاری از نرخ خشک شدن ماده در فاز اول می‌باشند. بر این اساس برخی از محققین نشان دادند که فرآیند خشک شدن و جذب آب مواد را می‌توان با مدل تجربی زیر بیان نمود (Khazaei and Daneshmandi, 2007; Khazaei and Mohammadi, 2009):

$$M_t = M_o + M_{ret} (1 - \exp(-t / T_{ret})) + K_{rel} t \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $M_0$  رطوبت اولیه ماده (d. b. %)،  $M_{rel}$  مقدار رطوبت خارج شده از محصول در فاز اول خیساندن (d. b. %)،  $T_{ret}$  زمان ریلکسیشن (دقیقه) و  $k_{rel}$  نرخ جذب رطوبت در فاز ریلکسیشن (دقیقه<sup>-۱</sup>) می‌باشد. در این مدل زمان ریلکسیشن ( $T_{rel}$ )، زمان مورد نیاز برای رسیدن رطوبت نهایی محصول به  $0.63 M_{rel}$  می‌باشد. به عبارت دیگر  $T_{rel}$  نشان دهنده سرعت خشک شدن ماده در فاز اول خشک شدن می‌باشد. همچنین  $k_{rel}$  نرخ خشک شدن ماده در فاز دوم را نشان می‌دهد که از طریق تعیین شیب خط مماس بر قسمت انتهایی منحنی خشک شدن محاسبه می‌شود. از امتیازات این مدل نسبت به سایر مدل‌های تجربی و ریاضی، توانایی خوب آن



در تحلیل فاز دوم خشک کردن (فاز ریلکسیشن) می‌باشد. مدل‌های عمومی ارائه شده توسط محققین تنها قادرند رفتار جذب رطوبت مواد در فاز اول خیساندن را تحلیل نمایند. در حالی که برای موادی که زمان خیساندن آنها طولانی است و ممکن است خیلی دیر به حالت تعادل برسند، تعیین رفتار جذب رطوبت آنها در فاز ریلکسیشن نیز مهم است که مدل ویسکوالاستیک به خوبی این امکان را فراهم می‌کند.

عده‌ای از محققین از مدل ویسکوالاستیک برای توصیف فرآیند جذب رطوبت دانه‌های لوبیا در حین غوطه‌وری استفاده نمودند. آنها دریافته‌اند مدل ویسکوالاستیک دارای دقت کافی برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی دانه‌های لوبیا را دارا می‌باشد (Shafaei and Masoumi, 2013a). یکی از معایب تمام مدل‌های ریاضی ارائه شده، فقط وابسته به زمان و یک متغیره بودن مدل و تغییر ضرایب مدل با تغییر دمای آزمایش می‌باشد.

برخی از محققین از دو روش پرسپترون چند لایه (MLP) و شعاع مینا (RBF) شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی جذب رطوبت دانه‌های گندم رقم تاجان در فرآیند غوطه‌وری استفاده نمودند. آنها دریافته‌اند شبکه عصبی پرسپترون چند لایه دارای دقت کافی برای پیش‌بینی نسبت رطوبت لحظه‌ای دانه گندم در فرآیند غوطه‌وری می‌باشد (Kashaninejad et al., 2009). هدف از تحقیق حاضر، پیش‌بینی لحظه‌ای محتوای رطوبتی سه رقم جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) در فرآیند غوطه‌وری در سه دمای آزمایشی ۱۰، ۲۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از دو روش متداول پرسپترون چند لایه (MLP) و تابع شعاع مینا (RBF) شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آنها با یکدیگر و با مدل ریاضی ویسکوالاستیک و گزارش مناسب ترین مدل می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده سازی نمونه‌ها

انواع دانه‌های جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) از مرکز جمع‌آوری دانه‌های سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان تهیه گردیدند. قبل از انجام آزمایشات مواد خارجی اضافی و دانه‌های شکسته شده و مخدوش جدا گردیده و حذف شدند. دانه‌های انتخاب شده برای آزمایش، بر اساس بعد بزرگ، به سه گروه کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم بندی شدند. به منظور حذف اثر اندازه دانه‌ها در مقدار جذب آب، از دانه‌ها با اندازه متوسط استفاده گردید. رطوبت اولیه دانه‌ها بر اساس استاندارد ASAE S352.2 DEC97 تعیین شد (ASAE, 1999) که هر سه رقم دارای رطوبت اولیه زیر ۱۰ درصد بر پایه خشک بوده و اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد نداشتند ( $P > 0.05$ ). ظروف مورد استفاده در آزمایش‌ها به همراه آب مقطر از چندین ساعت قبل، در دمای مورد نظر برای انجام آزمایشات قرار داده می‌شد.



## ۲-۲- انجام آزمایش‌ها

برای هر رقم، آزمایشات در سه دمای ۱۰، ۲۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در یخچال، دمای اتاق و آون انجام شد. در دمای بالاتر احتمال ژلاتینه شدن مواد وجود داشت. معمولاً جو در دمای تقریبی ۵۸-۶۴ درجه سانتی‌گراد به حالت ژلاتینه در می‌آید (Yang *et al.*, 2000) در هر آزمایش ۱۰ دانه از دانه‌ها با اندازه متوسط بطور تصادفی انتخاب و با ترازوی آزمایشگاهی (با نشان تجاری AND، مدل GF-400 ساخت کشور ژاپن) با دقت (۰/۰۰۱ گرم) وزن می‌شدند و در ظروف فومی حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم آب مقطر قرار می‌گرفتند. پس از مدت زمان معینی (۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ دقیقه و غیره) دانه‌ها از ظرف بیرون آورده می‌شدند و پس از خشک کردن رطوبت سطحی دانه‌ها توسط دستمال کاغذی حوله‌ای مجدداً وزن می‌شدند. از کرنومتر دیجیتالی و ترازوی آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری زمان غوطه‌وری و جرم دانه‌ها قبل و بعد از هر مرحله غوطه‌وری استفاده گردید. آزمایشات با سه تکرار انجام گردید. مقدار جذب رطوبت دانه‌ها بر اساس رابطه (۲) محاسبه گشت (McWatters *et al.*, 2002):

$$W_a = \frac{W_f - W_i}{W_i} \times 100 \quad (2)$$

که  $W_a$  مقدار جذب رطوبت بر پایه خشک (d. b.%)،  $W_f$  و  $W_i$  به ترتیب وزن دانه‌ها بعد و قبل از غوطه‌وری بر حسب گرم می‌باشد. آزمایشات بر اساس جدول زمان‌بندی انجام گردیده تا زمان حل شدن دانه‌ها در آب به مقدار مشخصی برسد. در این حالت محتوای رطوبتی دانه‌ها به حالت اشباع رسیده است. بر طبق روابط ارائه شده توسط پلگ (۱۹۸۸)، به‌هنگامی که جرم مخصوص آب بیش از یک صدم گرم در اثر حل شدن دانه‌ها در آب، افزایش یابد، دانه‌ها به رطوبت اشباع دست یافته‌اند (Peleg, 1988). بدین منظور قبل و بعد از هر آزمایش جرم مخصوص آب مقطر به وسیله پیکنومتر اندازه‌گیری و کنترل می‌گشت.

## ۲-۳- طراحی شبکه عصبی مصنوعی

از داده‌های آزمایشی، به منظور آموزش، آزمون و ارزیابی دو شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) و تابع شعاع مبنا (RBF) با سه لایه نرون برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی هر سه رقم لوبیا استفاده شد. لایه اول، لایه ورودی که متغیرهای مستقل دما و زمان و لایه دوم، لایه‌های مخفی شبکه و لایه سوم، لایه خروجی که متغیر وابسته محتوای رطوبت لحظه‌ای می‌باشد، انتخاب گردید. از داده‌های بدست آمده از آزمایشات، ۷۰ درصد برای آموزش، ۱۵ درصد برای آزمون و ۱۵ درصد برای ارزیابی شبکه استفاده شد. به منظور افزایش دقت مدل و جلوگیری از بیش‌برازش داده‌ها، پارامترهای ترکیبی مانند نوع الگوریتم یادگیری، تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌ها در لایه پنهان، تعداد چرخه آموزش و ضریب یادگیری در طی فرآیند آموزش شبکه عصبی به روش آزمون و خطا تعیین



گشت (Fletcher, 1987). با توجه به وجود تعداد کثیری از الگوریتم‌ها و توابع آموزشی برای داده‌های تخمینی یا طبقه بندی شده، در هر روش از الگوریتم‌های غیر خطی کاهش شیب، شیب توأم، بردن-فلتشر-گلفارب-شانو (BFGS) و توابع شعاع مینا (RBFT) و توابع مثلثاتی، لگاریتم، خطی، گوسی و منطقی برای آموزش، آزمون و ارزیابی شبکه در نرم افزار STATISTICA V10 بهره گرفته شد.

## ۴-۲- ارزیابی مدل ویسکوالاستیک و شبکه عصبی مصنوعی

به منظور انتخاب مناسب‌ترین ساختار شبکه، مطابق با بیشترین قدرت پیش‌بینی محتوای رطوبتی دانه‌ها به ترتیب از شاخص‌های آماری ضریب تبیین ( $R^2$ ) بر اساس معادله (۳)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بر اساس معادله (۴) و چگونگی پراکنش اختلاف مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل پیش‌بینی محتوای رطوبتی دانه‌ها در هر سه مرحله آموزش، آزمون و ارزیابی استفاده گردید. مناسب‌ترین ساختار شبکه با توابع مربوطه و الگوریتم‌های استفاده شده از روش‌های شبکه پرسپترون چند لایه و تابع شعاع مینا، با استفاده از بیشترین ضریب تبیین، کمترین میانگین مربعات خطا و پراکندگی مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل پیش‌بینی محتوای رطوبتی دانه‌ها انتخاب گردید. ضرایب مدل ویسکوالاستیک برای هر سه رقم جو در هر سه دمای آزمایشی با استفاده از نرم افزار MATLAB R2012b محاسبه و مدل ویسکوالاستیک بر داده‌ها برازش گردید.

(۳)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{exp,i} - M_{exp,ave})^2 - \sum_{i=1}^N (M_{exp,i} - M_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^N (M_{exp,i} - M_{exp,ave})^2}$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_{pre,i} - M_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (۴)$$

## بحث و نتایج

### ۳-۱- بررسی منحنی‌های جذب رطوبت

افزایش محتوای رطوبتی دانه‌ها متناسب با زمان غوطه‌وری نشان داد که با افزایش دما، نرخ جذب رطوبت افزایش یافته است. دسترسی به رطوبت تعادلی بالاتر در آب گرمتر میسر می‌باشد. این پدیده به‌خاطر افزایش سرعت انتشار آب در بذور در دماهای بالاتر می‌باشد. دمای بالای آب باعث ژلاتینه شدن می‌باشد. (Ranjbari et al., 2011). نرخ جذب رطوبت با نزدیکی دمای غوطه‌وری به دمای ژلاتینه شدن بذر افزایش یافته است. بنابراین، استفاده از دمای بالا زمان لازم به رسیدن به رطوبت تعادلی را کاهش می‌دهد. در حالت کلی، نرخ جذب رطوبت در ابتدای زمان غوطه‌-



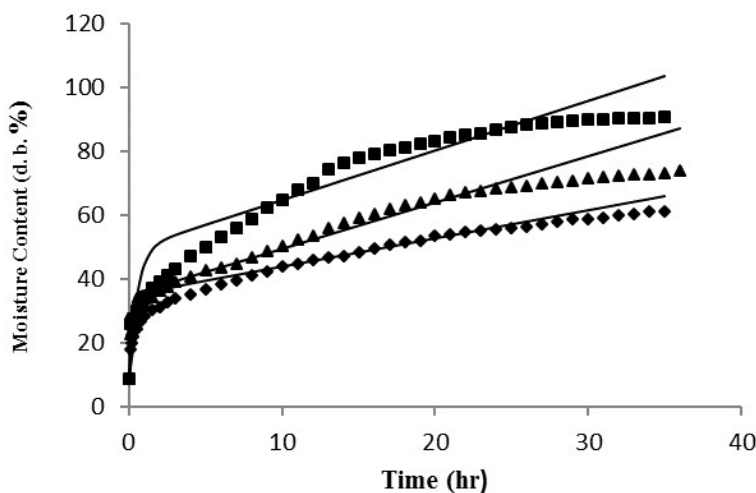
وری (فاز اول) بیشتر از انتهای زمان غوطه‌وری (فاز دوم) می‌باشد. خارج شدن مواد جامد بیشتری در انتهای زمان غوطه‌وری عامل مخالفی در جذب رطوبت در این زمان می‌باشد. نتیجه مشابه برای انواع دانه‌های بقولات مانند نخود، لوبیای چشم بلبلی، سویا و نخودفرنگی توسط محققین گزارش شده است (Turhan et al., 2002; Sayar et al., 2001 and Sopade and Obeka, 1990).

### ۳-۲- ارزیابی مدل ویسکوالاستیک

جدول (۱) بیانگر پارامترهای آماری ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها (RMSE) به همراه ضرایب ثابت مدل برای سه رقم جو آزمایشی در هر سه دما می‌باشد. مدل برازش شده بر داده‌های رقم ریحان ۰۳ در شکل (۱) مشاهده می‌شود. دو رقم دیگر نیز دارای رفتار مشابهی می‌باشند. از مقایسه‌های ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها (RMSE) مشاهده - گردید که مدل ویسکوالاستیک دارای صحت کافی برای پیش‌بینی رطوبت لحظه‌ای دانه‌های جو را در فرآیند خیساندن دارا می‌باشد. نتایج نشان داد اگرچه مدل ویسکوالاستیک دارای صحت کافی برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی می‌باشد ولی دقت کافی در تخمین رطوبت لحظه‌ای را برای دانه‌های جو ندارد. برای رقم ریحان ۰۳ بیشترین خطای پیش‌بینی مدلسازی مقدار ۱۳/۰۲۷ بود. رفتاری مشابه برای دو رقم دیگر حاصل شده است. برخی از محققین دریافتند، مدل ویسکوالاستیک دارای دقت کافی برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی دانه‌های کنجد در فرآیند خشک کردن را دارا می‌باشد (Khazaei and Daneshmandi, 2007). سایر محققین دقت کافی مدل ویسکوالاستیک را برای جذب رطوبت دانه‌های نخود گزارش کردند (Shafaei and Masoumi, 2013b).

جدول ۱. پارامترهای آماری و ضرایب ثابت مدل ویسکوالاستیک

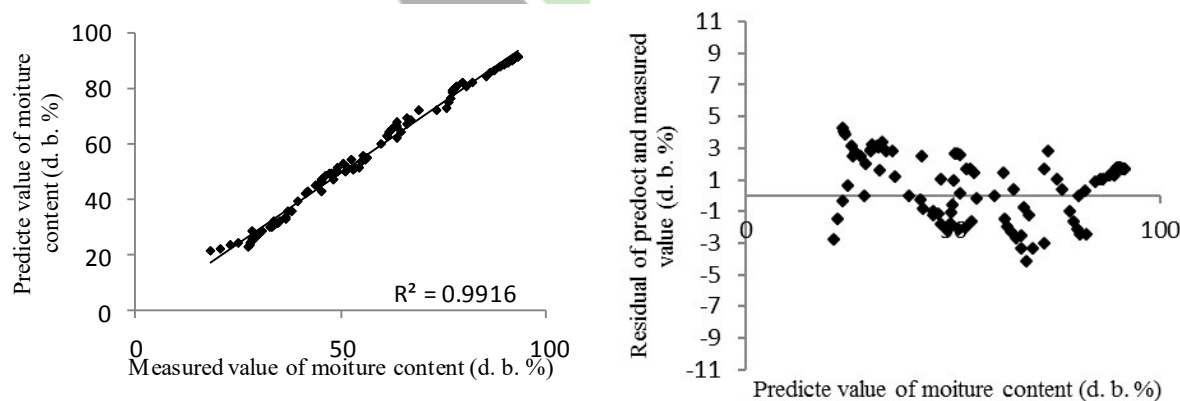
RMSE	$R^2$	$K_{rel}(h^{-1}\%)$	$M_{ret}(d. b. \%)$	$T_{ret}(h)$	دما (درجه سانتی‌گراد)	واریته
						فجر
۱/۹۳۳	۰/۹۸۲	۰/۸۷۸	۲۶/۲۵	۰/۵۹۳	۱۰	
۳/۶۹۸	۰/۹۶۳	۱/۴۴۸	۲۶/۱۹	۰/۱۰۶	۲۵	
۷/۰۹۷	۰/۹۱۵	۱/۵۵۲	۴۰/۴۶	۰/۵۳۱	۴۵	
						ریحان ۰۳
۲/۱۶۴	۰/۹۷۵	۰/۸۸۹	۲۴/۴۸	۰/۴۶۶	۱۰	
۳/۴۱۵	۰/۹۶۱	۱/۱۵۷	۲۹/۱۳	۰/۳۷۰	۲۵	
۵/۸۹۸	۰/۹۳۹	۱/۲۶۵	۴۴/۶۵	۱/۷۰۸	۴۵	
						MB862
۱/۲۶۸	۰/۹۹۰	۰/۸۲۱	۲۲/۵۵	۰/۴۰۲	۱۰	
۴/۰۲۲	۰/۹۶۶	۱/۵۷۹	۳۳/۵۹	۰/۲۲۱	۲۵	
۷/۰۶۱	۰/۹۱۶	۱/۴۸۱	۴۱/۸۳	۰/۷۷۲	۴۵	



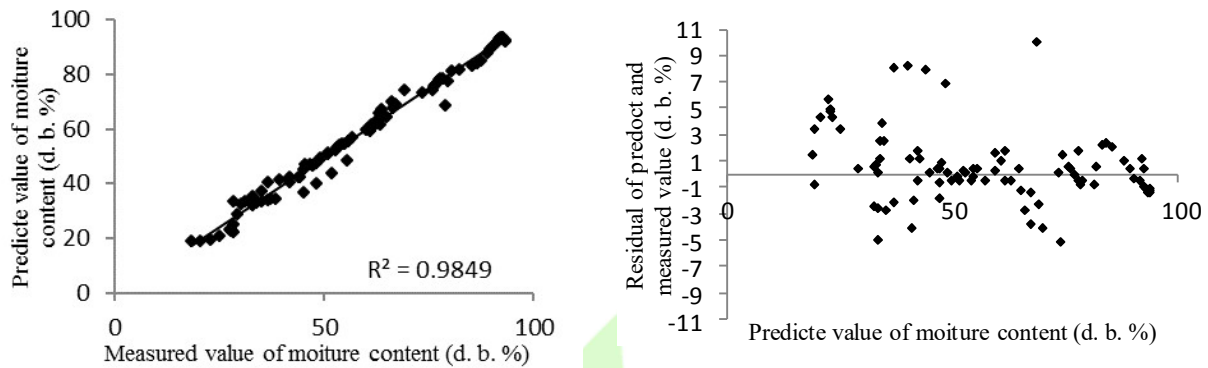
شکل ۱. برازش مدل ویسکوالاستیک برای جو رقم ریحان ۰۳، ۱۰، ۲۰ و ۴۵.

۳-۳- انتخاب بهترین ساختار شبکه عصبی

شکل‌های (۲) و (۳) مقادیر محتوای رطوبتی پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده که بیانگر دقت پیش‌بینی و مقدار اختلاف (باقیمانده) محتوای رطوبتی پیش‌بینی شده با مقدار واقعی بر حسب مقدار پیش‌بینی شده که بیانگر پراکنش داده‌ها و خطای پیش‌بینی می‌باشد را به هر دو روش MLP و RBF برای رقم فجر نشان می‌دهد. دو رقم دیگر نیز دارای رفتار مشابهی می‌باشند.



شکل ۲. مقایسه دقت و خطای پیش‌بینی شبکه MLP برای واریته فجر



شکل ۳. مقایسه دقت و خطای پیش‌بینی شبکه RBF برای وارپته فجر

نتایج مقایسه دو روش شبکه عصبی نشان می‌دهد که روش RBF اگرچه دارای صحت کافی برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی می‌باشد ولی دقت کافی در تخمین رطوبت لحظه‌ای را نسبت به روش MLP ندارد. برای رقم فجر بیشترین خطای پیش‌بینی شبکه MLP مقدار ۴/۱۶۹ بوده در حالی که بیشترین خطای شبکه RBF مقدار ۱۰/۰۶۱ می‌باشد. رفتاری مشابه برای دو رقم دیگر حاصل شده است. برای هر سه وارپته در جدول (۲) مناسب‌ترین ساختار شبکه برگزیده از دو روش MLP و RBF برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی با شاخص‌های آماری ضریب تبیین ( $R^2$ ) و میانگین مربعات خطا (MSE) مربوط به مرحله ارزیابی شبکه گزارش گردیده است. از مقایسه شکل‌های (۲) و (۳) و جدول (۲) مشاهده می‌گردد که روش MLP به دلیل ساختار یادگیری پس انتشار خطا با الگوریتم بردن-فلتشر-گلفارب-شانو (BFGS) و توپولوژی ۱-۴-۲ با تعداد کمتر نرون در لایه مخفی و ضریب تبیین ( $R^2$ ) بالاتر و میانگین مربعات خطا (MSE) کمتر بهترین پیش‌بینی را برای هر سه رقم وارپته جو حاصل نموده است.

برای آموزش شبکه عصبی بر اساس روش پرسپترون چند لایه، معمولاً از الگوریتم پس انتشار (BP) استفاده می‌شود. در طی آموزش شبکه به کمک الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا، ابتدا محاسبات از ورودی شبکه به سوی خروجی شبکه انجام می‌شود و سپس مقادیر خطای محاسبه شده به لایه‌های قبل انتشار می‌یابد. در ابتدا، محاسبه خروجی به صورت لایه به لایه انجام می‌شود و خروجی هر لایه، ورودی لایه بعدی خواهد بود. در حالت پس انتشار، ابتدا لایه‌های خروجی تعدیل می‌شوند، زیرا برای هر یک از نرون‌های لایه خروجی، مقدار مطلوبی وجود دارد و می‌توان به کمک آن‌ها و قاعده‌های بهنگام‌سازی، وزن‌ها را تعدیل نمود (Khanna, 1990). شبکه شعاع مینا، منطق ریاضی بسیار قوی برای حل مشکلات نامرغوب دارد. همانطور که از نام این روش پیداست، از توابع شعاعی متقارن به عنوان توابع فعال در لایه‌های مخفی و خروجی شبکه استفاده می‌شود. فرآیند آموزش در این روش به طور کلی به صورت مد بدون نظارت (بدون ارزیابی خطا) انجام می‌یابد (Kashaninejad et al., 2009). بنابراین روش پرسپترون چند لایه نسبت به روش شعاع مینا دارای ارجحیت کاربرد در مدل‌سازی بوده است. بر این اساس، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه برای پیش-





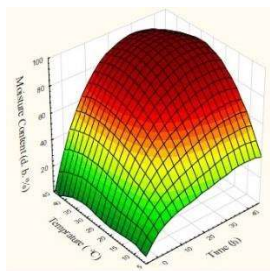
بینی محتوای رطوبتی هر سه رقم لوبیا در این تحقیق مناسب گردیده است. نتایج انتخاب شبکه پرسپترون چند لایه نسبت به شبکه شعاع مبنا با نتایج سایر محققین برای فرآیند غوطه‌وری دانه‌های گندم مطابقت دارد (Kashaninejad *et al.*, 2009).

جدول ۲. ساختار شبکه برگزیده هر دو روش MLP و RBF برای پیش بینی رطوبت لحظه‌ای سه واریته جو در فرآیند غوطه‌وری

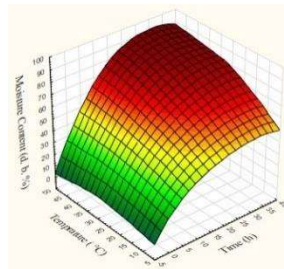
واریته	نوع شبکه	تعداد نرون در لایه مخفی	$(R^2)$ ارزیابی	(MSE) ارزیابی	الگوریتم آموزش	تابع عملکرد لایه مخفی	تابع عملکرد لایه خروجی
فجر	MLP	۴	۰/۹۹۷	۰/۲۶۴۱۰	BFGS	تانژانت	تانژانت
	RBF	۲۵	۰/۹۹۰	۰/۴۷۷۹۱	RBFT	گوسیین	خطی
ریحان ۰۳	MLP	۴	۰/۹۹۶	۰/۳۲۳۴۲	BFGS	تانژانت	منطقی
	RBF	۱۶	۰/۹۶۰	۱/۰۴۰۳۸	RBFT	گوسیین	خطی
MB862	MLP	۴	۰/۹۹۷	۰/۲۶۶۳۶	BFGS	تانژانت	تانژانت
	RBF	۱۷	۰/۹۸۰	۰/۶۹۶۰۱	RBFT	گوسیین	خطی

### ۳-۴- پیش‌بینی منحنی‌های جذب رطوبت لحظه‌ای

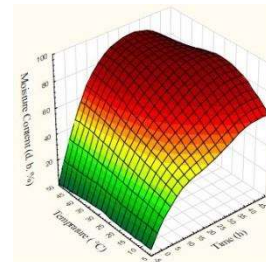
شکل (۴) منحنی‌های رطوبت لحظه‌ای سه واریته جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) را بر اساس پیش‌بینی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با ساختار مناسب نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دما غوطه‌وری، رطوبت جذب شده در زمان مشخص به صورت معنی داری افزایش می‌یابد ( $P < 0.05$ ). از سوی دیگر با ثابت بودن دمای غوطه‌وری دانه‌ها در آب، افزایش زمان غوطه‌وری باعث افزایش رطوبت جذب شده به صورت معنی داری می‌گردد ( $P < 0.05$ ). از مقایسه نرخ افزایش جذب رطوبت دانه‌ها با تغییرات زمان و دما مشاهده می‌گردد که غوطه‌وری دانه‌ها در آب با دمای بالاتر نسبت به زمان بیشتر، تاثیر معنادار بیشتری داشته و باعث نیل هر چه سریعتر به بیشترین ظرفیت جذب رطوبت می‌گردد. نتایج مشابهی با استفاده از مدل‌های ریاضی برای دانه‌های نخود (Sayar *et al.*, 2002) و لوبیا (Abu-Ghannam and McKenna, 1997) در توصیف فرآیند غوطه‌وری گزارش گردیده است.



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۴. منحنی‌های جذب رطوبت دانه‌های جو در فرآیند غوطه‌وری بر اساس پیش‌بینی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP).  
الف) فجر، ب) ریحان ۰۳ و ج) MB862.

### نتیجه‌گیری

نتایج مدل‌سازی فرآیند جذب رطوبت سه رقم جو نشان داد که اگرچه مدل ریاضی ویسکوالاستیک دارای صحت کافی برای پیش‌بینی لحظه‌ای محتوای رطوبتی دانه‌ها را دارد، اما در مقابل مدل‌های کامپیوتری از دقت کمتری برخوردار می‌باشد. از سوی دیگر، در میان دو روش شبکه عصبی، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) نسبت به شبکه عصبی شعاع منبسط (RBF)، دقت بیشتری در تخمین محتوای رطوبتی سه واریته جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) را در فرآیند غوطه‌وری داشت. بر اساس پیش‌بینی شبکه عصبی، افزایش زمان غوطه‌وری دانه‌ها تاثیر معناداری بر جذب رطوبت دانه‌ها در فرآیند غوطه‌وری دارد. با افزایش زمان غوطه‌وری، رطوبت جذب شده افزایش یافت. همچنین با افزایش دمای آب از ۱۰ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد، جذب رطوبت دانه‌ها در فرآیند غوطه‌وری افزایش یافت. در فرآیند خیساندن دانه‌های جو، آب گرمتر باعث کاهش زمان رسیدن دانه‌ها به محتوای رطوبتی بالاتر گردید.

### منابع

- 1-Abu-Ghannam, N., and B. McKenna. 1997. Hydration kinetics of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 62, 520–523.
- 2-ASAE. 1999. ASAE Standards, 46th ed. 1999. S352.2: Moisture measurement - unground grain and seeds. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- 3-Fletcher, R. 1987. *Practical methods of optimization* (2nd ed.). New York: Wiley.
- 4-Hunt, C. W. 1996. Factors affecting the feeding quality of barley for ruminants. *Anim. Feed Sci. tech.* 62:37-48.
- 5-Kashaninejad, M., A. M. Dehghani, and M. Khashiri. 2009. Modeling of wheat soaking using two artificial neural networks (MLP and RBF). *Journal of Food Engineering*,



- 91(4), 602–607.
- 6-Khanna, T. 1990. Foundation of neural networks. Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A.
- 7-Khazaei, J., and S. Daneshmandi. 2007. Modeling of thin-layer drying kinetics of sesame seeds: mathematical and neural networks modeling. *International AgroPhysics*, 21(4), 335-348.
- 8-Khazaei, J., and N. Mohammadi. 2009. Effect of temperature on hydration kinetics of sesame seeds (*sesamum indicum* L.). *Journal of Food Engineering*, 91(4), 542-552.
- 9-Maskan, M. 2002. Effect of processing on hydration kinetics of three wheat products of the same variety. *Journal of Food Engineering*, 52 (4), 337-341.
- 10-McWatters, K. H., M. S. Chinnan, R. D. Phillips, L. R. Beuchat, L. B. Reid, and R. M. Mensa-Wilmot. 2002. Functional, nutritional, mycological and akara-making properties of stored cowpea meal. *Journal of Food Science*, 67 (6), 2229–2234.
- 11-Peleg, M. 1988. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food science*, 53, 1216-1219.
- 12-Ranjbari, A., M. Kashaninejad, M. Alami, and M. Khomeiri. 2011. Effect of ultrasound pretreatment on water absorption characteristic of pea during steeping process (in Farsi). *Electronic Journal of Food Processing and Preservation*, 2(1), 91-105.
- 13-Sayar, S., M. Turhan, and S. Gunasekaran. 2001. Analysis of chickpea soaking by simultaneous water transfer and water-starch reaction. *Journal of Food science*, 50, 91-98.
- 14-Shafaei, S. M., and A. A. Masoumi. 2013a. Application of Viscoelastic Model in the Bean Soaking. *International Conference on Agricultural Engineering: New Technologies for Sustainable Agricultural Production and Food Security* February 24- 26, Muscat (Oman).
- 15-Shafaei, S. M., A. A. and Masoumi. 2013b. Application of Viscoelastic Model in the Chickpea Soaking. *1st International e-Conference on novel Food Processing*, February 26- 27, Mashhad (Iran).
- 16-Shafaei, S. M., and A. A. Masoumi. 2013c. Modeling of Water Absorption of Bean during Soaking. *International Conference on Agricultural Engineering: New*



- Technologies for Sustainable Agricultural Production and Food Security February 24-26, Muscat (Oman).
- 17-Shafaei, S. M., and A. A. Masoumi. 2013d. Modeling of Water Absorption of Chickpea during Soaking. 1st International e-Conference on novel Food Processing, February 26-27, Mashhad (Iran).
- 18-Sopade P. A., and J. A. Obekpa. 1990. Modeling water absorption in soybean, cowpea and peanuts at three temperatures using Peleg's equation. *Journal of Food Science*, 55, 1084-1087.
- 19-Toma, M., M. Vinatoru, L. Paniwnyk, and T. J. On. 2001. Investigation of the effects of ultrasound on vegetal tissues during solvent extraction. *Ultrason. Sonoch*, 8, 137-142.
- 20-Turhan M., S. Sayar, and S. Gunasekaran. 2002. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. *Journal of Food science*, 53, 153-159.
- 21-Yang, W. Z., K. A. Beauchemine, and L. M. Roda. 2000. Effect of barley grain processing on extent of digestion and milk production of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 83:559-568.

## Studying and Modeling of water absorption of barley

S. M. Shafaei<sup>1</sup>, M. Kamali<sup>2</sup> and M. Namjoo<sup>3\*</sup>

- 1- Ph. D. Student of Mechanics of Farm Machinery Engineering, Department of Mechanics of Farm Machinery Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, 71441-65186, Iran.
  - 2- Ph. D. Student of Mechanics of Farm Machinery Engineering, Department of Mechanics of Farm Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, 76169-14111, Iran.
  - 3- M.Sc. Degree in Agricultural Machinery Engineering, Agricultural Machinery Department, College of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, 7867161167, Iran.
- \*Corresponding Author's E-mail: moslem.namjoo@ujiroft.ac.ir

### Abstract

In this study, Predicting of water absorption of three varieties of barley (Fajr, Reyhan03, MB862) in the soaking was studied using mathematical model and neural network. The experiments were carried out at three different temperatures (10, 20 and 45 °C) in triplicate using distilled water. Amount of water absorption measured by an increase in the mass of barley with respect to time. Viscoelastic model has good ability to analyze water absorption in the second phase for crops was used to predict the water absorption of barley during soaking. Neural network was designed according to the two methods of multi-layer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF) with three neurons layer. First layer, input layer, is independent variables of temperature and time, second layer, hidden layers, are network hidden layers and third layer, output layer, is dependent variable of moisture content was selected. In each case, the nonlinear reduced gradient, combined gradient and BFGS algorithm, and Trigonometric, Logarithmic, Gaussian, and Logical functions was used to train, test and evaluate network. To evaluate the predicting viscoelastic model and network were used statics index, maximum value of coefficient of determination ( $R^2$ ) and minimum value of mean square error (RMSE). The results showed that method of multi-layer perceptron because of back-propagation learning algorithm with BFGS algorithm and 2-4-1 structure of network was obtained best result for three varieties of barley. According to prediction of the best neural network which was selected, three-dimensional graphs of moisture content, based on temperature and time variables, showed that with increasing temperature and time of immersion, water absorption is increasing for three varieties of barley.



**Keywords:** Immersion, moisture content, multi-layer perceptron, radial basis function, training algorithm.

