

مدل‌سازی سینتیک جذب رطوبت دانه جو با استفاده از مدل ویسکوالاستیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی

معین کمالی^۱ - سید جلیل رضوی^{۲*} - مرتضی صادقی^۲ - سید مجتبی شفافی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

در این تحقیق پیش‌بینی مقدار جذب رطوبت سه رقم جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) در فرآیند غوطه‌وری با استفاده از مدل ریاضی و شبکه عصبی مصنوعی 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 چندلایه (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 اعتبارسنجی 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 چندلایه 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 براساس پیش‌بینی شبکه عصبی انتخاب شده برای هر سه رقم واریته آزمایشی نشان داد که با افزایش دما و زمان غوطه‌وری، رطوبت جذب شده افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم آموزش، پرسپترون چندلایه، تابع شعاع مبنا، غوطه‌وری، محتوای رطوبت

مقدمه

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).

خیساندن دانه‌ها در فرآیند پوست‌گیری و پخت آنها به منظور نرم شدن پوسته و هسته آنها و جذب رطوبت معمول می‌باشد. مقدار آب جذب شده توسط دانه‌های مختلف در مدت زمان غوطه‌وری در آب در متفاوت است. اندازه بذور، دمای آب و مدت زمان غوطه‌وری در آب در میزان رطوبت جذب شده توسط بذر مؤثر می‌باشد. استفاده از آب با دمای بالا معمول‌ترین روش در کاهش زمان برای رسیدن به نرخ بالای جذب رطوبت در فرآیند غوطه‌وری در آب می‌باشد (Kashaninejad et al., 2009).

از مهمترین و عمومی‌ترین مدل‌های ریاضی که برای مدل‌سازی

دانه جو یکی از غلات مهم در سراسر جهان است که به دلیل داشتن نشاسته قابل هضم بالا به عنوان یک منبع اصلی انرژی در جیره غذایی دام به کار می‌رود. نشاسته اصلی‌ترین 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 درآید. این ذرات ریز در شکمبه زودتر از ذرات درشت تخمیر می‌شوند و باعث افزایش اسیدهای چرب

۱ و ۲ - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(Email: jrazavi@cc.iut.ac.ir)

*- نویسنده مسئول:

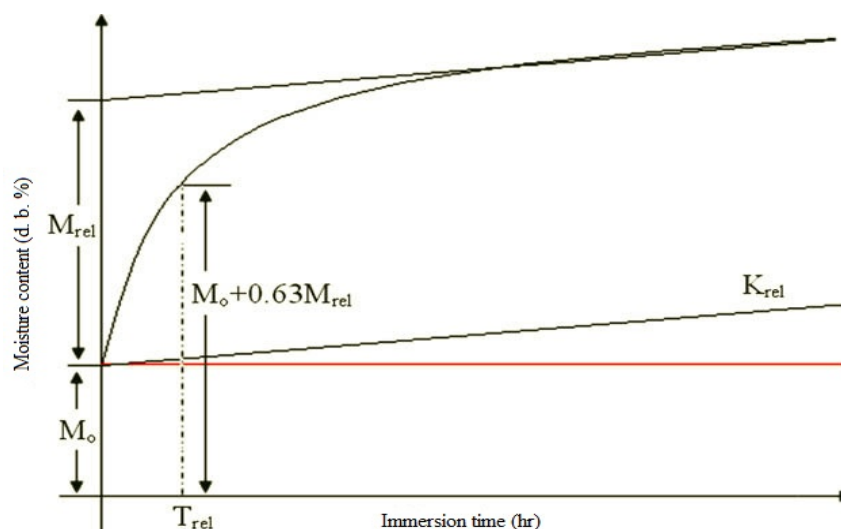
(دقیقه/۱) می‌باشد. در این مدل زمان تأخیری (T_{ret})، زمان مورد نیاز برای رسیدن رطوبت نهایی محصول به $0.63 M_{rel}$ می‌باشد. به عبارت دیگر T_{ret} نشان‌دهنده سرعت جذب رطوبت ماده در فاز اول جذب رطوبت می‌باشد. همچنین K_{rel} نرخ جذب رطوبت ماده در فاز دوم را نشان می‌دهد که از طریق تعیین شیب خط مماس بر قسمت انتهایی منحنی جذب رطوبت محاسبه می‌شود (شکل ۱). مطابق شکل ۱، از مزایای این مدل آن است که کلیه ترم‌های آن را می‌توان مستقیماً از روی منحنی جذب رطوبت ماده به دست آورد. از امتیازات دیگر این مدل نسبت به سایر مدل‌های تجربی و ریاضی، توانایی خوب آن در تحلیل فاز دوم جذب رطوبت (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 دریافتند مدل ویسکوالاستیک دارای دقت کافی برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی دانه‌های لوبیا را دارا می‌باشد (Shafaei and Masoumi, 2014c). 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.

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 فرآیندهای 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 دریافتند مدل ویبول بیشترین همخوانی را با تغییرات داده‌های آزمایشی دارد (Shafaei and Masoumi, 2014a). مشاهدات نشان داده‌اند که فرآیند جذب رطوبت مواد شامل یک فاز اولیه با نرخ جذب رطوبت سریع و فاز دوم با نرخ کمتر جذب رطوبت می‌باشند. فاز دوم جذب رطوبت معمولاً فاز ریلکسیشن نامیده می‌شود. مشابه این رفتار در فرآیند خشک کردن مواد کشاورزی دیده شده است. مشکل عمده همه مدل‌های تجربی و ریاضی ارائه شده آن است که هیچ ارزیابی از نرخ جذب رطوبت ماده در فاز دوم ارائه نمی‌دهند. در حقیقت ضرایب در مدل‌های پیچ، نمایی با دو جمله‌ای و لگاریتمی و غیره تنها معیاری از نرخ جذب رطوبت ماده در فاز اول می‌باشند. بر این اساس 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):

$$M_t = M_0 + M_{rel}(1 - \exp(-t/T_{ret})) + K_{rel} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، M_0 رطوبت اولیه ماده (d. b. %)، M_{rel} مقدار رطوبت جذب شده از محصول در فاز اول خیساندن (d. b. %)، T_{ret} زمان ریلکسیشن (دقیقه) و K_{rel} نرخ جذب رطوبت در فاز ریلکسیشن



شکل ۱- مدل ویسکوالاستیک در منحنی جذب رطوبت مواد (Khazaei and Mohammadi, 2009)

Fig.1. Viscoelastic model of materials in water uptake (Khazaei and Mohammadi, 2009)

درصد بر پایه خشک بوده (به ترتیب برای ریحان ۰.۳، فجر و MB862، ۸/۲۳، ۸/۶۲ و ۸/۸۹) که اختلاف معنی‌داری 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.

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 به طور 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 براساس رابطه (۲) محاسبه شد (McWatters *et al.*, 2002):

$$W_a = [(W_f - W_i) / W_i] \times 100 \quad (2)$$

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 براساس 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، 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 می‌شد.

طراحی شبکه عصبی مصنوعی

از داده‌های آزمایشی، به منظور آموزش، آزمون و ارزیابی دو شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (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

اساس روش‌های پیش‌بینی هوشمند، استفاده از دانش نهفته در داده‌های آزمایشی، تلاش برای استخراج روابط ذاتی بین آنها و تعمیم آن در موقعیت‌های دیگر است. شبکه عصبی مصنوعی یکی از مهمترین روش‌های هوش مصنوعی بوده که در آن با الهام از مدل مغز انسان، ضمن اجرای فرآیند آموزش، اطلاعات مربوط به داده‌ها، در قالب وزن‌های شبکه ذخیره می‌شوند (Dayhoff, 1990). شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به‌طور موقفیت‌آمیزی در تخمین مسائل در فرآیندهای طبیعی عمل نموده است. این روش نسبت به بسیاری از روش‌های معمولی آماری و مدل‌سازی برتری دارد. در مقایسه با مدل‌های رگرسیون خطی، این روش مقادیر پیش‌بینی را ملزم به قرارگیری در اطراف مقدار میانگین نکرده و به‌همین دلیل تغییرپذیری واقعی داده را حفظ می‌کند. پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی آموزش دیده، امکان کاهش یا افزایش متغیرهای ورودی و خروجی را در صورت نیاز فراهم می‌کند. از این رو می‌توان مدلی چند متغیره با خروجی حتی بیشتر از یک هدف تولید نمود (Heristev, 1998).

برخی از محققین از دو روش پرسپترون چندلایه (MLP) و شعاع مبنا (RBF) شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی جذب رطوبت دانه‌های گندم رقم تاجان در فرآیند غوطه‌وری استفاده نمودند. آنها دریافتند شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه 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 ۰.۳، فجر و MB862) در فرآیند غوطه‌وری در سه دمای آزمایشی ۱۰، ۲۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از دو روش متداول پرسپترون چندلایه (MLP) و تابع شعاع مبنا (RBF) شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آنها با یکدیگر و با مدل ریاضی ویسکوالاستیک و گزارش مناسب‌ترین مدل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

انواع دانه‌های جو (ریحان ۰.۳، 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، براساس بعد بزرگ، به سه گروه کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم‌بندی شدند. به‌منظور حذف اثر اندازه دانه‌ها در مقدار جذب آب، از دانه‌ها با اندازه متوسط استفاده گردید. رطوبت اولیه دانه‌ها براساس استاندارد ASAE S352.2 DEC97 تعیین شد (ASAE, 1999) که هر سه رقم دارای رطوبت اولیه زیر ۱۰

می‌دهد 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 و نرم شدن بذر و در نتیجه کاهش مقاومت بافت داخلی به جذب رطوبت می‌گردد (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 غوطه‌وری (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).

ارزیابی مدل ویسکوالاستیک

جدول ۱ بیانگر پارامترهای آماری ضریب تبیین (R^2) و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها (RMSE) به‌همراه ضرایب ثابت مدل برای سه رقم جو آزمایشی در هر سه دما می‌باشد. مدل برازش شده بر داده‌های رقم ریحان ۰۳ در شکل ۲ مشاهده می‌شود. شکل 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 برای رقم ریحان ۰۳ را در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. 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 دریافته‌اند، 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 لوبیا گزارش کردند (Shafaei and Masoumi, 2014c).

لایه دوم، لایه‌های مخفی شبکه و لایه سوم، لایه خروجی که متغیر وابسته محتوای رطوبت لحظه‌ای می‌باشد، انتخاب گردید. از داده‌های به‌دست آمده از آزمایشات، ۷۰ درصد برای آموزش، ۱۵ درصد برای آزمون و ۱۵ درصد برای ارزیابی شبکه استفاده شد. به‌منظور 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 طبقه‌بندی شده، در هر روش از الگوریتم‌های غیر خطی کاهش شیب، شیب توأم، بردن-فلنشر-گلفارب-شانو (BFGS) و توابع شعاع مبنا (RBFT) و توابع مثلثاتی، لگاریتم، خطی، گوسی و منطقی برای آموزش، آزمون و ارزیابی شبکه بهره گرفته شد.

ارزیابی مدل ویسکوالاستیک و شبکه عصبی مصنوعی

به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین ساختار شبکه، مطابق با بیشترین قدرت پیش‌بینی محتوای رطوبتی دانه‌ها به‌ترتیب از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) براساس رابطه (۳)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) براساس رابطه (۴) و چگونگی پراکنش اختلاف مقادیر باقیمانده‌ها در مقابل پیش‌بینی محتوای رطوبتی دانه‌ها در مرحله ارزیابی استفاده گردید. مناسب‌ترین ساختار شبکه با توابع مربوطه و الگوریتم‌های استفاده شده از روش‌های شبکه پرسپترون چندلایه و تابع شعاع مبنا، با استفاده از بیشترین ضریب تبیین، کمترین میانگین مربعات خطا و پراکنش 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 نرم‌افزار MATLAB R2012b محاسبه و مدل ویسکوالاستیک بر داده‌ها برازش گردید.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{\text{exp},i} - M_{\text{exp,ave}})^2 - \sum_{i=1}^N (M_{\text{exp},i} - M_{\text{pre},i})^2}{\sum_{i=1}^N (M_{\text{exp},i} - M_{\text{exp,ave}})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_{\text{pre},i} - M_{\text{exp},i})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

نتایج و بحث

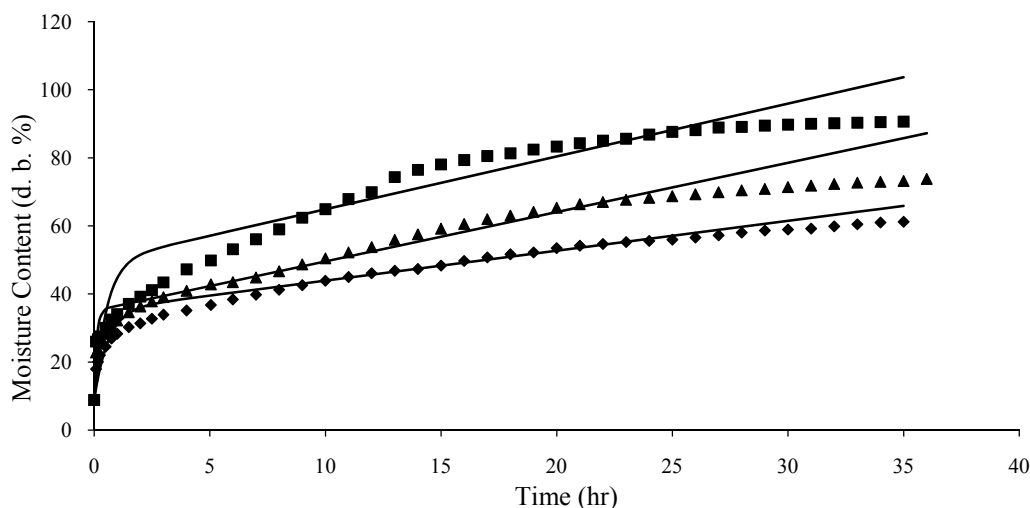
منحنی‌های جذب رطوبت

محتوای رطوبتی اولیه نمونه‌های مورد آزمایش به‌ترتیب ۸/۸۹، ۸/۲۲ و ۸/۶۲ درصد بر مبنای وزن خشک به‌ترتیب برای جوهای ریحان ۰۳، فجر و MB862 به‌دست آمدند که در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری نداشتند ($p < 0.05$). منحنی‌های جذب رطوبت نشان

جدول ۱- پارامترهای آماری و ضرایب ثابت مدل ویسکوالاستیک برای دانه‌های جو

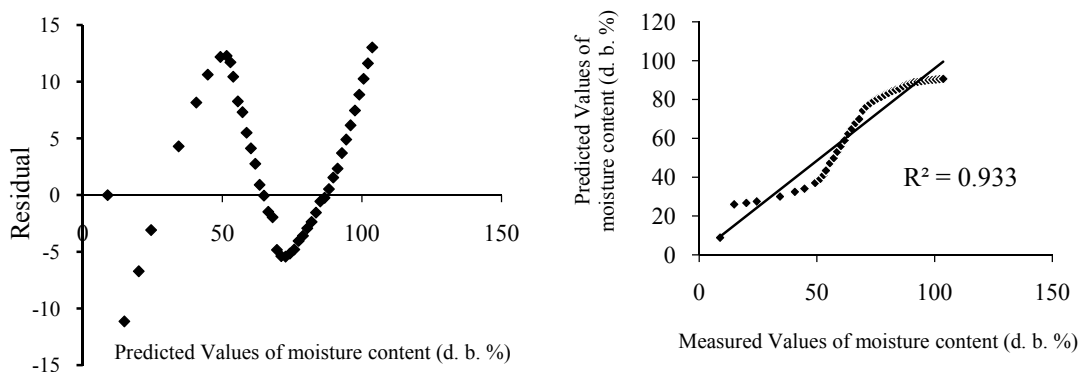
Table 1- The coefficients of viscoelastic model and statistical parameters of moisture content of barley

واریته Variety	دما Temperature (°C)	M _{ret} (%d. b.)	T _{ret} (hr)	K _{ret} (% hr ⁻¹)	R ²	RMSE
فجر Fajr	10	26.25	0.593	0.878	0.982	1.933
	25	26.19	0.106	1.448	0.963	3.698
	45	40.46	0.531	1.552	0.915	7.097
ریحان ۰۳ Reyhan03	10	24.48	0.466	0.889	0.975	2.164
	25	29.13	0.370	1.157	0.961	3.415
	45	44.65	1.708	1.265	0.939	5.898
MB862	10	22.55	0.402	0.821	0.990	1.268
	25	33.59	0.221	1.579	0.966	4.022
	45	41.83	0.772	1.481	0.916	7.061



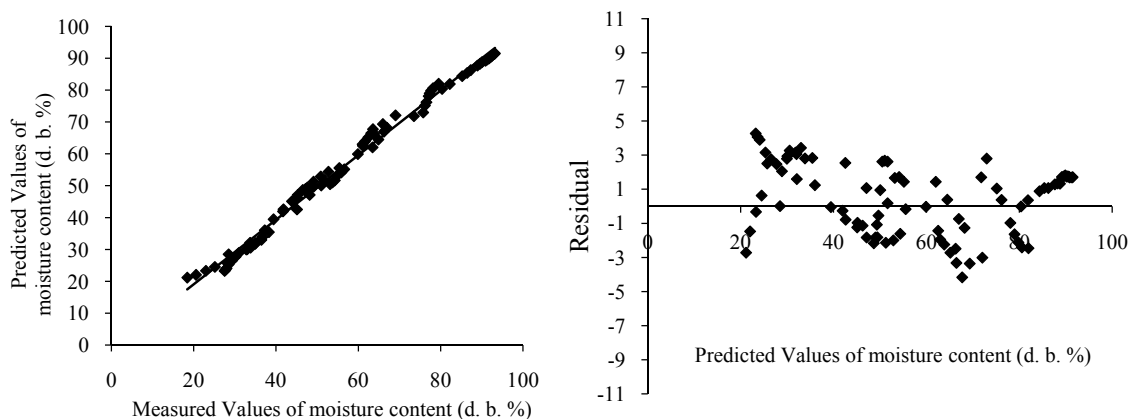
شکل ۲- برازش مدل ویسکوالاستیک برای جو رقم ریحان ۰۳، ۱۰°، ۲۰° و ۴۵°

Fig.2. Fitting the viscoelastic model for Reyhan03 barley during immersion, 5°, 25°, 45°



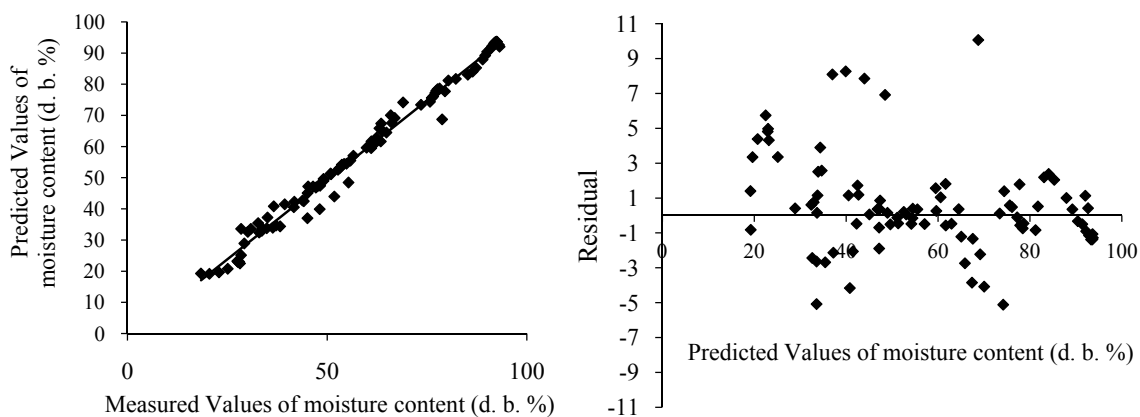
شکل ۳- مقایسه دقت و خطای پیش‌بینی مدل ویسکوالاستیک برای واریته ریحان ۰۳ در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد

Fig.3. Comparison of accurate and error of predicting viscoelastic model for Reyhan03 variety in 45°



شکل ۴- مقایسه دقت و خطای پیش‌بینی شبکه MLP برای واریته فجر

Fig.4. Comparison of accurate and error of predicting MLP network for Fajr variety



شکل ۵- مقایسه دقت و خطای پیش‌بینی شبکه RBF برای واریته فجر

Fig.5. Comparison of accurate and error of predicting RBF network for Fajr variety

شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) و میانگین مربعات خطا (MSE) مربوط به مرحله ارزیابی شبکه گزارش گردیده است. از مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ و جدول ۲ مشاهده می‌گردد که روش MLP به دلیل ساختار یادگیری پس انتشار خطا با الگوریتم برودن - فلتشر - گلدفارب - 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 واریته جو حاصل نموده است.

برای آموزش شبکه عصبی براساس 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.

انتخاب بهترین ساختار شبکه عصبی

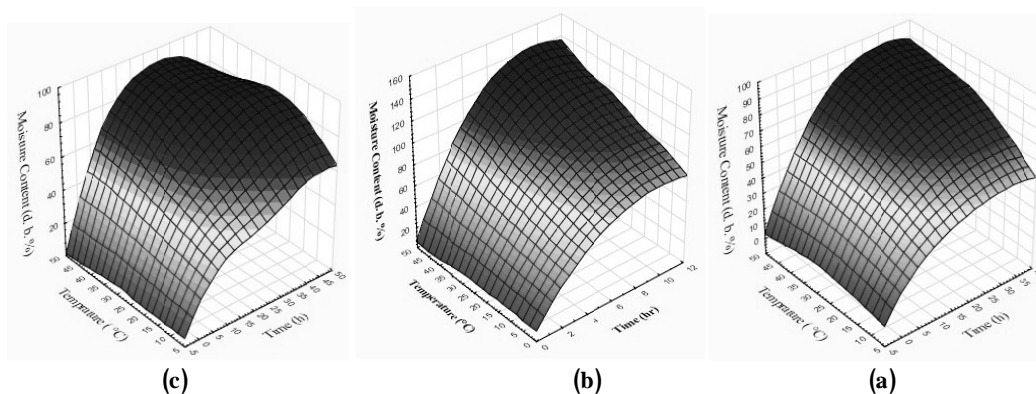
شکل‌های ۴ و ۵ مقادیر محتوای رطوبتی پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده که بیانگر دقت پیش‌بینی و مقدار اختلاف (باقیمانده) محتوای رطوبتی پیش‌بینی شده با مقدار واقعی بر حسب مقدار پیش‌بینی شده که بیانگر پراکنش داده‌ها و خطای پیش‌بینی می‌باشد را به هر دو روش MLP و RBF برای رقم فجر نشان می‌دهد. دو رقم دیگر نیز دارای رفتار مشابهی می‌باشند.

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 واریته در جدول ۲ مناسب‌ترین ساختار شبکه برگزیده از دو روش MLP و RBF برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی با

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

Table 2- The best structure of two methods of MLP and RBF to predict of moisture content of three varieties of barley during soaking

واریته Variety	نوع شبکه Network Type	تعداد نرون در لایه‌های مخفی Number of neurons in hidden layers	ارزیابی Evaluation (R ²)	ارزیابی Evaluation (MSE)	الگوریتم آموزش Training algorithm	تابع عملکرد لایه‌های مخفی Operation function in hidden layers	تابع عملکرد لایه خروجی Operation function in output layer
فجر Fajr	MLP	4	0.997	0.26410	BFGS	Trigonometric	Trigonometric
	RBF	25	0.990	0.47791	RBFT	Gaussian	Linear
ریحان ۰۳ Reyhan03	MLP	4	0.996	0.32342	BFGS	Trigonometric	Logistic
	RBF	16	0.960	1.04038	RBFT	Gaussian	Linear
MB862	MLP	4	0.997	0.26636	BFGS	Trigonometric	Trigonometric
	RBF	17	0.980	0.69601	RBFT	Gaussian	Linear



شکل ۶- منحنی‌های جذب رطوبت دانه‌های جو در فرآیند غوطه‌وری براساس پیش‌بینی شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) (a) فجر، (b) ریحان ۰۳ و (c) MB862

Fig.6. Water absorption curves of barley seeds based on multi-layer perceptron (MLP) neural network predicting during soaking, a) Fajr, b) Reyhan03, c) MB862

نتایج سایر محققین برای فرآیند غوطه‌وری دانه‌های گندم مطابقت دارد (Kashaninejad *et al.*, 2009).

پیش‌بینی جذب رطوبت لحظه‌ای

شکل ۶ منحنی‌های رطوبت لحظه‌ای سه واریته جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) را براساس 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 معنی‌داری 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 معنی‌داری 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

در حالت پس انتشار، ابتدا لایه‌های خروجی تعدیل می‌شود، 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 مبنا، منطق ریاضی بسیار قوی برای حل مشکلات نامرغوب دارد. همانطور که از نام این روش پیداست، از توابع شعاعی متقارن به‌عنوان توابع فعال در لایه‌های مخفی و خروجی شبکه استفاده می‌شود. فرآیند آموزش در این روش به‌طور کلی به صورت مد بدون نظارت (بدون ارزیابی خطا) انجام می‌یابد (Kashaninejad *et al.*, 2009). بنابراین روش پرسپترون چندلایه نسبت به روش شعاع مبنا دارای ارجحیت کاربرد در مدل‌سازی بوده است. بر این اساس، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی هر سه رقم لوبیا در این تحقیق مناسب گردیده است. نتایج انتخاب شبکه پرسپترون چندلایه نسبت به شبکه شعاع مبنا با

مدل‌های هوشمند از دقت کمتری برخوردار می‌باشد. از سوی دیگر، در میان دو روش شبکه عصبی، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) نسبت به شبکه عصبی شعاع مبنا (RBF) دقت بیشتری در تخمین محتوای رطوبتی سه وارسته جو (ریحان ۰۳، فجر و MB862) را در فرآیند غوطه‌وری داشت. براساس پیش‌بینی شبکه عصبی، افزایش زمان غوطه‌وری دانه‌ها تأثیر معنی‌داری بر جذب رطوبت دانه‌ها در فرآیند غوطه‌وری دارد. در دمای ثابت با افزایش زمان غوطه‌وری، رطوبت جذب شده افزایش یافت. همچنین با ثابت بودن زمان غوطه‌وری دانه‌ها، افزایش دمای آب از ۱۰ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد، باعث افزایش جذب رطوبت دانه‌ها گردید. در فرآیند خیساندن دانه‌های جو، آب گرم‌تر باعث کاهش زمان رسیدن دانه‌ها به محتوای رطوبتی بالاتر گردید.

بیشتر، تأثیر معنی‌دار بیشتری داشته و باعث نیل هرچه سریعتر به بیشترین ظرفیت جذب رطوبت می‌گردد. نتایج مشابهی با استفاده از مدل‌های ریاضی برای دانه‌های نخود (Sayar *et al.*, 2001;) (Toma *et al.*, 2014, 2014b) (Shafaei and Masoumi, 2014) ، سویا (Maskan, 2002) و لوبیا (Abu-Ghannam and McKenna, 1997) در توصیف فرآیند غوطه‌وری گزارش گردیده است.

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

منابع

1. Abu-Ghannam, N., and B. McKenna. 1997. Hydration kinetics of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science* 62 (3): 520-523.
2. ASAE. 1999. ASAE Standards, 46th ed. 1999. S352.2: Moisture measurement - unground grain and seeds. St. Joseph, Mich.: ASAE.
3. Dayhoff, J. E. 1990. *Neural Network Principles*. Prentice-Hall International, U.S.A.
4. Fletcher, R. 1987. *Practical methods of optimization* (2nd ed). New York: Wiley.
5. Heristev, R. M. 1998. *The ANN Book*. GNU Public License. USA.
6. Hunt, C. W. 1996. Factors affecting the feeding quality of barley for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 62 (1): 37-48.
7. 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.
8. Khanna, T. 1990. *Foundation of neural networks*. Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Mohsenin, N. N. 1986. *Physical properties of plant and animal materials*. 2nd ed. Gordon Breach Science, Publ; New York.
14. Peleg, M. 1988. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science* 53 (4): 1216-1217.
15. Ranjbari, A., M. Kashaninejad, M. Alami, and M. Khomeiri. 2011. Effect of ultrasound pretreatment on water absorption characteristic of pea during steeping process. *Electronic Journal of Food Processing and Preservation* 2 (1): 91-105. (In Farsi).
16. Sayar, S., M. Turhan, and S. Gunasekaran. 2001. Analysis of chickpea soaking by simultaneous water transfer and water-starch reaction. *Journal of Food Engineering* 50 (2): 91-98.
17. Shafaei, S. M., and A. A. Masoumi. 2014a. Estimating moisture absorption kinetics of beans during soaking using mathematical models. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 16 (3): 230-237.
18. Shafaei, S. M., and A. A. Masoumi. 2014b. Studying and modeling of hydration kinetics in chickpea

- seeds (*Cicer arietinum* L.). *Agricultural Communications* 2 (2): 15-21.
19. Shafaei, S. M., and A. A. Masoumi. 2014c. Use of viscoelastic model to describe water absorption of beans during soaking. *Acta Horticulture (ISHS)* 1054 (1): 191-196.
 20. Shafaei, S. M., A. A. Masoumi, and H. Roshan. 2014. Analysis of water absorption of bean and chickpea during soaking using Peleg model. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. in Press.
 21. 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 (4): 1084-1087.
 22. Toma, M., M. Vinatoru, L. Paniwnyk, and T. J. On. 2001. Investigation of the effects of ultrasound on vegetal tissues during solvent extraction. *Ultrasonics Sonochemistry* 8 (2): 137-142.
 23. Turhan, M., S. Sayar, and S. Gunasekaran. 2002. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. *Journal of Food Engineering* 53 (2): 153-159.
 24. Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, 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 (3): 554-568.

Modeling moisture absorption kinetics of barley grain using viscoelastic model and neural networks

M. Kamali¹ - S. J. Razavi^{2*} - M. Sadeghi² - S. M. Shafaei¹

Received: 18-11-2013

Accepted: 18-01-2014

Introduction: Barley is one of the most important grains with high digestible starch making it a main source of energy in human nutrition as well as in livestock rations formulation and feeding. Starch is the main part of barley grain and it has an inverse relation with its protein. It has a digestible foodstuff of 80 to 84 percent of its dry matter content. Barley as livestock foodstuff should be processed and it is done in several ways. A customary method for processing barley in dairy farms is its size reduction by milling (Hunt, 1996). An alternative method of barley processing is steam rolling. However, because of the high cost of steam generators a method of soaking with heating has been considered as an alternative method for steam rolling (Yang *et al.*, 2000). The rate of moisture absorption by grains during the soaking process varies considerably and depends on the size of the grain, water temperature and the length of soaking. High temperature water soaking is an ordinary way to reduce the time duration for reaching a high rate of moisture absorption during the soaking process (Kashaninejad *et al.*, 2009). Various studies have shown that these models have adequate accuracy in analyzing drying and moisture absorption processes for most agricultural products (Abu-Ghannam and McKenna, 1997). Some researchers have modeled beans moisture absorption behavior using 14 mathematical models and found that the Weibull model had the most conformity with variations in experimental data (Shafaei and Masoumi, 2014c). Observations made by researchers indicate that the moisture absorption process in various materials encompasses a primary phase with a fast rate and a second phase with a lower rate. The second phase in moisture absorption is called the relaxation phase. The main problem with all the mathematical and experimental models is the lack of the model's ability to evaluate the rate of moisture absorption in the secondary phase. Artificial Neural Network (ANN) as an important artificial intelligent method comparable to human brain capabilities is applied to train and store data in the form of weighted networks (Dayhoff, 1990). This method has superiority to many ordinary statistical and model making methods. In comparison to linear regression models, ANN does not require placing estimated values around mean values and for this reason it retains actual variations in the data being analyzed. Prediction by using trained ANN enables the researchers to decrease or increase input and output variables. Therefore, it is possible to produce a multivariate model with an output even more than the objectives deemed necessary (Heristev, 1998). The goal of this research was to predict instant moisture content of three barley varieties (Reyhan3, Fajr and MB862) during the soaking process under three temperature levels (10, 20 and 45 °C) using two conventional ANN methods of multilayer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF) in comparison with viscoelastic mathematical model and reporting the results.

Materials and method: Barley varieties were collected from the Isfahan Province Agriculture Organization grain depository and were cleaned and the debris were separated before the experiments. The selected grains were sorted to three groups of small, medium and large grains sizes. To exclude the effect of grain size during moisture absorption, the medium size grains were used. The moisture content of the grains was determined based on the ASAE S352.2 DEC97 (ASAE, 1999) which were %8.23, %8.62 and %8.89 on a dry basis for Reyhan3, Fajr and MB862, respectively with no significant difference at %5 probability level ($p>0.05$). Experiments were conducted under three temperatures (10, 20 and 45 °C) in the refrigerator, at room temperature and in the oven, respectively for each variety. In each experiment, 10 medium size grains were selected randomly and weighed with an AND laboratory scale model Gf-400 (made in Japan) and placed in foam containers having 200 mg of distilled water. Grains were weighed after a predetermined period of elapsed time (5, 10, 15, 30, 60, 120, etc. minutes). The experiments were conducted with three replications and moisture absorption rates were determined by the equations presented by McWatters *et al.*, 2002. The experiments were conducted on a time table based on which the time for the dissolving of grains was reached. In this case, the moisture content of the grains reaches the saturation point. According to equations presented by Peleg, as water density increases as much as 0.01 gram due to grains dissolving in water, the saturation point has been reached (Peleg, 1988). For this reason, distilled water density was measured and controlled before and after each experiment by a pycnometer. Neural

1 & 2- Graduated student and Associate Professor Respectively, Biosystems Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan

(* - Corresponding Author Email: Jrazavi@cc.iut.ac.ir)

network was designed according to the two methods of multi-layer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF) with three neuron layers. The first layer, i.e. input layer, is independent variables of temperature and time. The second layer, i.e. hidden layers, is the networks hidden layer and the third layer, i.e. output layer, is the dependent variable of moisture content which was selected. In each case, the nonlinear reduced gradient, combined gradient and BFGS algorithm, and Trigonometric, Logarithmic, Gaussian, and Logical functions were used to train, test and evaluate the network. To evaluate the predicting viscoelastic model and the network, we used statistical indices maximum value of coefficient of determination (R^2) and minimum value of mean square error (RMSE).

Results and Discussion: Moisture absorption curves showed that as the temperature increases, moisture absorption rate increases as well. Higher equilibrium moisture levels are obtained in water with higher temperatures. This phenomenon is the result of increased moisture diffusion in grains due to higher temperature levels. Higher water temperatures causes grain internal material which is mainly starch to gelatinize and, thus, the internal tissues resistance to moisture absorption reduces (Ranjbari *et al.*, 2011). The moisture absorption rate increases as immersion temperature and gelatinization temperature reach closer to each other.

Conclusions: The results of this study showed that although viscoelastic mathematical model has an adequate accuracy for instant prediction of barley grain moisture content, it has a lower accuracy compared to intelligent models. On the other hand, among the two neural network methods, MLP method has a higher accuracy in predicting moisture content compared to RBF method. MLP obtained the best results for three varieties of barley because of back-propagation learning algorithm with BFGS algorithm and 2-4-1 network structure. According to the prediction of the best neural network which was selected, three-dimensional graphs of moisture content based on temperature and time variables, showed that with an increase in temperature and duration of immersion, moisture absorption increases for three varieties of barley.

Keywords: Immersion, Moisture content, Multi-layer perceptron, Radial basis function, Training algorithm