نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۲۶ شماره ۴/ سال ۱۳۹۵

عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی اثرات میزان بوجاری، رطوبت، دما و زمان بر ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی دانه‌ی گندم

الهام آل‌حسینی[۱]، سید مهدی جعفری[۲*]، علی معتمدزادگان[۳] و علی آل‌حسینی[۴]

تاریخ دریافت: ۹٤/۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹٤/۱۰/۲۲

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات آیت الله آملی
[۲] دانشیار گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۳] دانشیار گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات آیت الله آملی
[٤] دانشجوی دکتری، گروه نانو تکنولوژی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی مشهد
[*] مسئول مکاتبه: Email: smjafari@gau.ac.ir

چکیده

شناخت ویژگی‌های فیزیکی دانه‌ی گندم در فرآیند انتقال، جدا سازی و ذخیره این محصول ارزشمند، نقش اساسی ایفا می‌نماید. در این مطالعه و در گام نخست، اثرات میزان بوجاری، رطوبت، دما و مدت زمان نگهداری روی برخی از ویژگی‌های فیزیکی (هکتولیتر، وزن هزار دانه و دانسیته توده) و میکروبی (شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک‌ها) دانه‌ی گندم رقم n-80 بررسی شد و سپس داده‌های حاصله توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی مدل پرسپترون چند لایه و شبکه تابع پایه‌ی شعاعی با توابع آستانه مختلف، شبیه‌سازی شد و داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی با داده‌های تجربی مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد، شبکه پرسپترون چند لایه با یک لایه مخفی با تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک- تانژانت هیپربولیک، برای ویژگی‌های فیزیکی با چیدمانی با پنج ورودی، ۱۱ نرون در لایه پنهان، ۳ خروجی (۵-۱۱-۳) با تعداد تکرار ۳۰۰۰ و همچنین برای ویژگی‌های میکروبی، چیدمانی با پنج ورودی، ٤ نرون در لایه پنهان، ۲ خروجی (۵-٤-۲) و با تعداد تکرار ٤۰۰۰، بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی این ویژگی‌ها در مقایسه با شبکه‌ی تابع پایه‌ی شعاعی داشتند. ضرایب تبیین برای ویژگی‌های هکتولیتر، وزن هزار دانه، دانسیته توده، شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک در شبکه‌ی پرسپترون چند لایه به ترتیب برابر با ۰/۹۵۰، ۰/۹۸۹، ۰/۹۰۸، ۰/۹۰۸ و ۰/۹۳۸ بودند. میزان هکتولیتر و دانسیته توده با بالا رفتن سطوح رطوبتی، مدت زمان نگهداری و دما کاهش و با افزایش سطوح بوجاری افزایش یافت. میزان شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک با افزایش رطوبت، دما و مدت زمان نگهداری افزایش و با بالا رفتن سطوح بوجاری کاهش یافتند.

واژگان کلیدی: شبکه عصبی، مدل پرسپترون چند لایه، مدل تابع پایه شعاعی، ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی

مقدمه

دانه‌ی گندم را در ا صطلاح گیاه شنا سی کاریوپسیس یا گندمه می‌نامند. دانه به سختی، به پریکارپ و یا در واقع دیواره و یا پوست دانه چسبیده است (بهنیا ۱۳۷٦ و پایان ۱۳۸۵). گندم از جمله غلاتی است که جایگاه مهمی را از نظر تغذیه در دنیا دارد (مظاهری و مجنون‌حسینی ۱۳۸۵). وزن دانه برحسب وزن هزاردانه بیان می شود و هرقدر دانه‌ها بزرگتر و دارای دانسیته بیشتری باشند، مقدار آندوسپرم آنها در مقایسه با سایر قسمت‌ها بیشتر است (رجب‌زاده ۱۳۷۵). هکتولیتر نشان‌دهنده رابطه حجم با وزن است. از طریق این شاخص علاوه بر برآورد تقریبی از پر بودن دانه‌ها، می‌توان به فضای مورد نیاز برای ذخیره‌سازی و بازدهی آرد مفید گندم پی برد. دانسیته توده نقش مهمی در طراحی سیلوهای ذخیره‌سازی گندم دارد. دانه غلات، منبع غذایی خوبی برای رشد میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. حضور یا عدم حضور میکروارگانیسم‌ها در ذخیره‌سازی و نگهداری غلات، اهمیت بسزایی دارد (رجب‌زاده ۱۳۷۵ و پایان ۱۳۸۵).

شبکه‌ی عصبی مصنوعی ایده‌ای برای پردازش اطلاعات است. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی ویژه بهم پیوسته به نام نرون[1] تشکیل شده است. هر نرون طبیعی از سه قسمت اصلی بدنه سلول،[2] دندریت[3] و اکسون[4] تشکیل شده است (اسفندیاری درآباد ۱۳۸۹).

شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه[5]

در شبکه‌ی عصبی پر سپترون چند لایه، تعداد نرون‌های لایه ورودی برابر با تعداد عنا صر بردار ورودی و تعداد نرون های لایه خروجی برابر با تعداد عناصر بردار خروجی می‌باشد. تعداد نرون‌های لایه میانی، تابعی از عناصر بردار ورودی می‌باشد. خروجی هر نرون توسط رابطه‌ی ۱ تعریف می‌گردد (امیری چایجان و همکاران ۱۳۸۸):

$$a = f(\sum_{i=1}^{n} p_i w_{j,i} + b_j) \quad [۱]$$

f = تابع آستانه‌ی نرون ژام؛

p_i = مقدار خروجی از نرون iام لایه‌ی قبل؛

b_j = وزن مربوط به بایاس برای نرون ژام؛

a = مقدار خروجی از نرون ژام؛

$w_{j,i}$ = مقدار وزن اتصال بین نرون ژام لایه‌ی مذکور با نرون iام لایه‌ی قبل است که بیانگر اهمیت ارتباط بین دو نرون در دو لایه متوالی می‌باشد.

شبکه تابع پایه شعاعی

در شبکه با تابع پایه‌ی شعاعی، سیگنال‌های ورودی مستقیماً وارد سلول‌های لایه‌ی مخفی می‌شوند. تعداد سلول‌های لایه‌ی مخفی از روش سعی و خطا بدست می‌آید. تعداد سلول های لایه‌ی خروجی برابر با تعداد خروجی‌ها است. تکنیک توابع پایه شعاعی شامل انتخاب یک تابع F به فرم رابطه‌ی ۲ می‌باشد (هایکین ۱۹۹۹).

$$f(x) = \sum_{i=1}^{N} w_i \varphi(\|x - x_i\|) \quad [۲]$$

$\varphi(\|x - x_i\|) \;/\; i= 1, 2, ...,N$ مجموعه‌ای از N تابع غیرخطی می‌باشد که توابع پایه‌ی شعاعی نامیده می‌شوند.

$\|\bullet\|$ بیانگر نرم‌بردار می‌باشد که معمولاً بصورت فاصله اقلیدسی در نظر گرفته می‌شود.

$i= 1, 2, ...,N$ و $X_i \in R^P$ مراکز توابع پایه‌ی شعاعی می‌باشند.

توابع لگاریتم سیگموئید، تانژانت سیگموئیدی و تابع فعال‌سازی خطی از جمله توابعی هستند که در انتقال اعداد از لایه قبل به لایه بعد مورد استفاده قرار می‌گیرند (کیاء ۱۳۸۹ و ساجیکومار و تنداویسوارا ۱۹۹۹).

کاشانی‌نژاد و همکاران (۲۰۰۹) روی مدل‌سازی خیساندن گندم با استفاده از دو شبکه عصبی مصنوعی (چند لایه پر سپترون و شبکه تابع پایه شعاعی) به منظور برآورد نسبت رطوبت دانه‌ی گندم در غوطه‌ور شدن تحقیق نمودند. نتایج آنها نشان داد که نسبت رطوبت برآورد شده با شبکه‌های عصبی چند لایه پرسپترون از شبکه‌ی

[1] - Neurons
[2] - Some
[3] - Dendrite
[4] - Axon
[5] - Multilayer Perceptron Neural Network (MPN)

تابع پایه شعاعی دقیق‌تر است. همچنین مشخص شد که نسبت رطوبت با افزایش زمان خیساندن کاهش و با افزایش غوطه‌ور شدن، درجه حرارت افزایش می‌یابد.

در تحقیقی دیگر مارینیا و همکاران (۲۰۰۸)، شش رقم گندم دوروم را با استفاده از دو نوع مختلف شبکه‌ی عصبی مصنوعی چند لایه پیش‌رونده و انتشاریابنده شمارشی مورد بررسی و طبقه‌بندی قرار دادند. نتایج نشان داد شبکه‌ی عصبی مصنوعی انتشاریابنده شمارشی، با دقت ۸۲ درصد توانایی پیش‌بینی مناسب‌تری داشت. این در حالی بود که توانایی پیش‌بینی شبکه‌ی عصبی چند لایه پیش‌رونده در حدود ۷۲ درصد بود. مدل‌سازی خشک کردن دانه با استفاده از شبکه‌های عصبی توسط فارکاس و همکاران (۲۰۰۰) انجام شد. هدف فارکاس و همکاران در این مطالعه، تنظیم کردن یک شبکه‌ی عصبی به منظور تعیین رابطه‌ی بین توزیع رطوبت در مواد خشک شده و سایر پارامترهای فیزیکی از جمله دمای هوای خشک‌کن، رطوبت و سرعت جریان هوا بود. آنها داده‌های ورودی را به طور تصادفی عوض نمودند، در حالی که خروجی براساس مدل اکالاگان تعیین شد. همچنین ساختار شبکه‌ی عصبی انتخابی برای بررسی تأثیر زمان نمونه‌برداری، آموزش شبکه به صورت تصادفی، استفاده از الگوریتم انتشار به عقب چندگانه آموزش و ایجاد تعدادی از سلول‌های عصبی پنهان مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت آنها نشان دادند، شبکه‌ی عصبی مصنوعی ایجاد شده قادر به پیش‌بینی و مدل‌سازی فرآیند خشک کردن دانه به صورت مؤثر بود. سابلانی و شفیور (۲۰۰۳) با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی، ضریب هدایت حرارتی برخی از مواد غذایی را به عنوان تابعی از مقدار رطوبت، درجه حرارت و تخلخل ظاهری پیش‌بینی نمودند. محصولات غذایی در نظر گرفته شده در این مطالعه شامل سیب، گلابی، آرد ذرت، کشمش، سیب‌زمینی، اووآلبومین، ساکارز، نشاسته، هویج و برنج بود. دامنه‌ی حرارتی مورد بررسی ۴۲ °C تا ۱۳۰ و مدل مطلوب شبکه‌ی عصبی مصنوعی در این تحقیق شامل دو لایه پنهان با چهار نرون در هر لایه‌ی پنهان بود. مقادیر خطای متوسط نسبی و خطای مطلق میانگین مدل ارائه شده به ترتیب ۱۲/۶ درصد و ۰/۰۸۱ بود. میزان رطوبت و فعالیت آبی تعدادی از محصولات نیمه آماده شامل کراکرهای کاساوا در طی فرآیند خشک‌کردن با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط لرتوراسیریکول و تیپسوآن (۲۰۰۸) پیش‌بینی شد. آنها از شبکه‌ی عصبی چند لایه پیش‌رونده و از فرم غیرخطی رگرسیون خودکار به منظور پیش‌بینی کیفیت محصول در طی فرآیند خشک کردن استفاده نمودند. در این بررسی به منظور تعیین ویژگی‌های مورد آزمون از هوای گرم با دماهای ۵۰ °C، ۵۵، ۶۰، ۶۵، ۷۰، ۷۵ و ۸۰ استفاده نمودند. همچنین برای طراحی شبکه‌ی عصبی به کار گرفته شده از چند ورودی به منظور ورود داده‌ها شامل میزان خشک شدن، درجه‌ی حرارت، رطوبت نسبی هوا و درجه‌ی حرارت نمونه و برای خروجی‌ها از دو متغیر میزان رطوبت و فعالیت آبی استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد، بهترین شبکه از ۹ گره مخفی و تابع لگاریتمی انتقال سیگموئید در لایه اول تشکیل می‌شود. میانگین مربعات خطا و ضریب رگرسیون برای پیش‌بینی شبکه و خروجی‌های تجربی به ترتیب ۰/۰۰۳۴ و ۰/۹۹ بود. مختاریان و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای دیگر از شبکه‌ی عصبی پرسپترون، تابع پایه شعاعی و مدل ترکیبی شبکه‌ی عصبی و روش‌شناسی سطح پاسخ به همراه توابع فعال‌سازی مختلف به عنوان یک ابزار پیش‌بینی‌کننده‌ی پارامترهای خشک کردن کدوی سبز استفاده نمودند. نتایج مدل‌سازی نشان داد که مدل شبکه‌ی عصبی پرسپترون با تابع محرک لوگ سیگموئید- لوگ سیگموئید به عنوان بهترین تابع محرک مدل، توانست مقادیر انرژی اکتیواسیون، عدد فوریه، چروکیدگی و ضریب انتشار رطوبت را به ترتیب با ضرایب رگرسیونی ۰/۹۹۰، ۰/۹۹۰، ۰/۹۹۹ و ۰/۹۹۱ درصد پیش‌بینی کند.

از آنجایی که اطلاعات بسیار اندکی در رابطه با اثرات بوجاری، محتوای رطوبتی، دما و مدت زمان نگهداری بر ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی گندم در طی دوره نگهداری و پیش‌بینی شاخص‌های مرتبط در کشور وجود دارد، لذا در این بررسی، عوامل اشاره شده مورد مطالعه قرار گرفتند و با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی، اقدام به پیش‌بینی ویژگی‌های نامبرده شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه روی نمونه‌های گندم رقم n-80 تهیه شده از اداره کل غله و خدمات بازرگانی استان گلستان (گرگان) انجام گرفت. میزان رطوبت پایه‌ی هر نمونه با خشک کردن حدود ۵ تا ۱۰ گرم نمونه در آون ۱۳۰±۲ °C (آون Memmert، مدل: ۶۰۰ 06062 D، ساخت آلمان) تا رسیدن به رطوبت ثابت تعیین شد (استاندارد ملی ایران به شماره ۲۷۰۵، ۱۳۸۹). برای بوجاری گندم، از الک‌های استاندارد موجود در آزمایشگاه شرکت غله و خدمات بازرگانی، مگنت و فن استفاده شد و مقادیر محاسبه شده‌ای از آب مقطر به نمونه‌ها جهت تهیه‌ی نمونه‌هایی با درصد رطوبت بالاتر و مطابق با سطوح رطوبتی مورد نظر در آزمایش (۱۲ و ۱۴ درصد بر مبنای مرطوب) افزوده شد (رابطه‌ی ۳).

$$Q = \frac{W_i(M_f - M_i)}{100 - M_f} \qquad [۳]$$

Q = جرم آب مقطر افزوده شده (گرم)، W_i = جرم اولیه‌ی نمونه، m_i و m_f = به ترتیب میزان رطوبت اولیه و نهایی نمونه برحسب وزن مرطوب (درصد).

پس از افزودن آب مقطر به نمونه‌ی موجود در بسته‌های چند لایه نفوذ ناپذیر[۱] و همزدن آن، درب کیسه‌ها دوخت حرارتی شد و به مدت یک هفته جهت توزیع یکنواخت رطوبت قرار گرفت. سپس گندم‌هایی با بوجاری ۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد و رطوبت‌های ۱۰، ۱۲ و ۱۴ درصد با ۲ تکرار، در بسته‌های چند لایه نفوذ ناپذیر قرار گرفته و پس از دوخت حرارتی، در دماهای ۲۰ °C و ۴۰ در داخل آون، برای مدت زمان ۳ ماه نگهداری و آزمون‌های مورد نظر بعد از طی هر ماه روی آنها انجام شد.

ویژگی‌های فیزیکی

تعیین وزن هزاردانه

به گونه تصادفی نمونه‌ای به وزن تقریبی پانصد دانه برداشته شد. دانه‌های سالم از نمونه‌ی اولیه جدا و شمارش گردید و سپس با ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ گرم، مدل MX50، ساخت A&D ژاپن) وزن شد. برای محاسبه وزن هزار دانه از رابطه‌ی ۴ استفاده شد (استاندارد ملی ایران، شماره ۷۶۲۹، ۱۳۸۳).

$$m_H = \frac{m_o \times 1000}{N} \qquad [۴]$$

m_H= وزن هزاردانه هنگام دریافت؛

m_O = وزن دانه‌ها به گرم؛

N = تعداد دانه‌ها در m_0 گرم دانه.

تعیین وزن هکتولیتر

برای تعیین وزن هکتولیتر، ابتدا پیمانه‌ی دستگاه با نمونه پر شد و سپس قطعات دستگاه روی هم سوار گردید. محتوای پیمانه، با کشیدن ضامن دستگاه به داخل مخزن ریخته و وزن دانه‌های داخل مخزن آن را با ترازو (با دقت ۰/۰۱ گرم، مدل EK600i، ساخت AND ژاپن) توزین شد. در نهایت با استفاده از رابطه‌ی ۵، وزن هکتولیتر گزارش شد (استاندارد ملی ایران، شماره ۱-۸۱۶۴، ۱۳۸۹ و استاندارد ملی ایران، شماره ۳-۸۱۶۴، ۱۳۸۹).

$$hr = \frac{m}{10} \qquad [۵]$$

hr = وزن هکتولیتر؛ m = وزن گندم توزین شده.

تعیین دانسیته توده

نمونه در داخل قیفی قرار داده شد. در قسمت تحتانی قیف، تیغه‌ای تعبیه شده بود که با برداشتن آن نمونه از فاصله‌ی ۱۵ سانتی‌متری شروع به ریزش به داخل ظرف

[۱] – از جنس پلیمر چند لایه (پلی‌اتیلن و پلی‌استایرن)

استوانه‌ای شکل با حجم مشخص (۵۰۰ سانتی‌متر مکعب) نمود. با اســتفاده از یک تیغه‌ی فلزی و با حرکت زیگزاگ سطح ماده در داخل ظرف با سطح ظرف مماس شد. در نهایت برا ساس رابطه‌ی ٦ داد سیته‌ی توده محا سبه شد (محسنین ۱۹۸۰).

$$\rho_b = \frac{M}{V} \qquad [٦]$$

M = وزن نمونه‌ی موجود در ظرف؛

V = حجم ظرف (۵۰۰ سانتی‌متر مکعب).

ویژگی‌های میکروبی

تعیین شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها

شــمارش کلی میکروارگانیســم‌ها با اســتفاده از روش استاندارد ملی ایران به شماره ۵۲۷۲ (۱۳۸٦) اندازه‌گیری شد و با ا ستفاده از رابطه ۷، تعداد میکروارگانی سم‌های موجود در نمونه (N) برحســب میانگین تعداد شــمارش شده از دو رقت متوالی محاسبه و نتیجه به صورت تعداد میکروارگانیسم در هر گرم بیان شد.

$$N = \frac{\sum C}{V(n_1 + 0.1n_2)d} \qquad [٧]$$

$\sum c$ = مجموع کلنی‌های شــمارش شــده در همه‌ی پلیت‌های انتخاب شده (از دو رقت متوالی).

V = حجم تلقیح شده در هر پلیت برحسب میلی‌لیتر.

n_1 = تعداد پلیت‌های شمارش شده در اولین رقت انتخاب شده (یعنی رقتی که حاوی مقدار بیشتری از نمونه است).

n_2 = تعداد پلیت‌های شمارش شده در دومین رقت انتخاب شده (یعنی رقتی که حاوی مقدار کمتری از نمونه است).

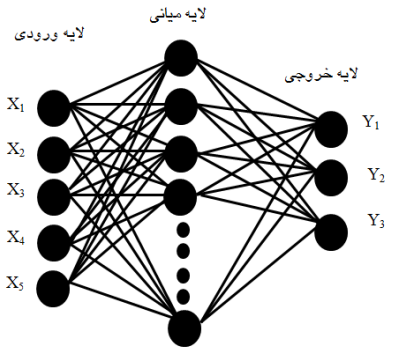
d = ضریب رقت برحسب اولین رقت انتخاب شده.

تعیین کپک

۱۰ گرم آرد با ۹۰ میلی‌لیتر محلول رقیق کننده مخلوط شــد تا ســوســپانســیون یکنواختی بدســت آید. ســپس ۱ میلی‌لیتر از رقت 10^{-2} به پلیت اضــافه شــد و ۲۰-۱۵ میلی‌لیتر محیط کشت دی‌کلران ۱۸ درصد گلیسرول آگار (DG 18) در پلیت ریخته شــد و به مدت ۳ تا ۵ روز در دمای ۲۵ °C قرار داده شــد. پس از این مدت، کلنی‌های کپک رشد یافته در پلیت‌ها، شمارش و در رقت ضرب شد (استاندارد ملی ایران، شماره ۲-۱۰۸۹۹).

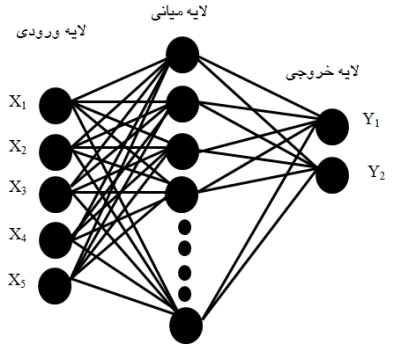
مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

برای پیش‌گویی ویژگی های فیزیکی و میکروبی گندم، از دو شــبکه‌ی عصــبی پرســپترون چند لایه و تابع پایه‌ی شعاعی با یک لایه‌ی پنهان ا ستفاده شد. لایه ورودی در هر دو شــبکه برای پیش‌گویی ویژگی‌های فیزیکی شــامل پارامترهای بوجاری، محتوای رطوبتی، دما و مدت زمان نگهداری بوده و لایه خروجی را پاســخ های مورد نظر شــامل هکتولیتر، وزن هزار دانه و دانســیته توده تشــکیل می‌دهد (شکل ۱). هممچنین لایه ورودی در هر دو شبکه برای پیش‌گویی ویژگی‌های میکروبی شــامل پارامترهای بو جاری، محتوای رطوبتی، د ما و مدت ز مان نگهداری بوده و لایه خروجی را پاســخ های مورد نظر شــامل شمارش کلی میکروارگانی سم‌ها و کپک‌ها تشکیل می‌دهد (شکل ۲).



X_1= بو جاری، X_2= محتوای رطوبتی، X_3= د ما، X_4= مدت ز مان نگهداری، Y_1= هکتولیتر، Y_2= وزن هزار دانه، Y_3= دانســیته توده

شکل ۱- شمای کلی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده برای ویژگی‌های فیزیکی گندم



X_1= بوجاری، X_2= محتوای رطوبتی، X_3= دما، X_4= مدت زمان نگهداری، Y_1= شمارش کلی میکروارگانیسم و Y_2= کپک

شکل ۲- شمای کلی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده برای ویژگی‌های میکروبی گندم

برای توسعه مدل‌ها و فرآیند یادگیری (در هر دو شبکه‌ی به کار رفته)، ابتدا داده‌ها به سه زیر مجموعه به صورت ۶۰ در صد داده‌ها برای آموزش شبکه، ۱۵در صد داده‌ها برای اعتبار سنجی و ۲۵ در صد داده‌ها برای تست شبکه تقسیم شدند. سپس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MATLAB نسخه ۷ سال ۲۰۱۱ پیش‌بینی شدند. شبکه با یک لایه‌ی پنهان آموزش داده شد. برای آموزش شبکه‌ی پرسپترون با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا، همراه با مومنتوم استفاده گردید که در آن ضریب مومنتوم ۰/۷ و نرخ یادگیری مقدار ۱ در نظر گرفته شد. همچنین تعداد نرون‌ها، تکرار یا سیکل[1] و توابع فعال‌سازی مختلف نیز به منظور به دست آوردن بهترین شبکه تغییر داده شدند. با این مشخصات، شبکه برای ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی به ترتیب بعد از ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ تکرار به جواب رسید.

جهت بررسی و آزمون اعتبار شبکه‌ها، به ارزیابی عملکرد آنها پرداخته شد. برای ارزیابی عملکرد شبکه، از دو روش زیر استفاده شد:

الف- ضریب تبیین که معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. رابطه‌ی ۸ نحوه‌ی محاسبه آن را نشان می‌دهد (صداقت‌کردار و فتاحی ۱۳۸۷ و مختاریان و شفافی ۱۳۹۰).

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(p_{ANN,i} - p_{\exp,i})^2}{\sum_{i=1}^{n}(\bar{p}_{ANN,i} - p_{\mathrm{ANN},i})^2}\right] \quad [۸]$$

p_{ANN} = مقدار پیش‌بینی شده برای پارامترهای خروجی از شبکه؛

p_E = مقادیر داده‌های تجربی بدست آمده از آزمایش.

ب- میانگین مربعات خطا[2] که دقت و اعتبار دسته‌های آموزشی و آزمونی را اندازه‌گیری می‌کند و از رابطه‌ی ۹ محاسبه شد:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{N}(p_{ANN,i} - p_{\exp,i})^2}{N} \quad [۹]$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تأثیر میزان رطوبت، بوجاری، دما و مدت زمان نگهداری روی ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی دانه گندم با استفاده از روش آنالیز واریانس آنوا[3] تعیین و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵ درصد با بکارگیری نرم‌افزار (SAS 2001) انجام شد.

نتایج و بحث

رطوبت پایه‌ی دانه‌های گندم، ۱۰ درصد بر مبنای مرطوب تعیین شد.

ویژگی‌های فیزیکی

بررسی نتایج بدست آمده از جدول ۱، برای ویژگی‌های هکتولیتر، وزن هزار دانه و دانسیته‌ی توده نشان دادند، شبکه‌ی پرسپترون چند لایه با یک لایه‌ی مخفی، چیدمانی با پنج ورودی، ۱۱ نرون در لایه‌ی پنهان و ۳ خروجی، با تابع محرک تانژانت هیپربولیک- تانژانت هیپربولیک و با تعداد تکرار ۳۰۰۰، بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی این شاخص‌ها در مقایسه با شبکه‌ی تابع پایه‌ی شعاعی داشت. به طوری که این مدل قادر به پیش‌بینی هکتولیتر، وزن هزار دانه و دانسیته‌ی توده با ضرایب تبیین به

[1] - Epoch
[2] - Mean Square Error
[3] - ANOVA

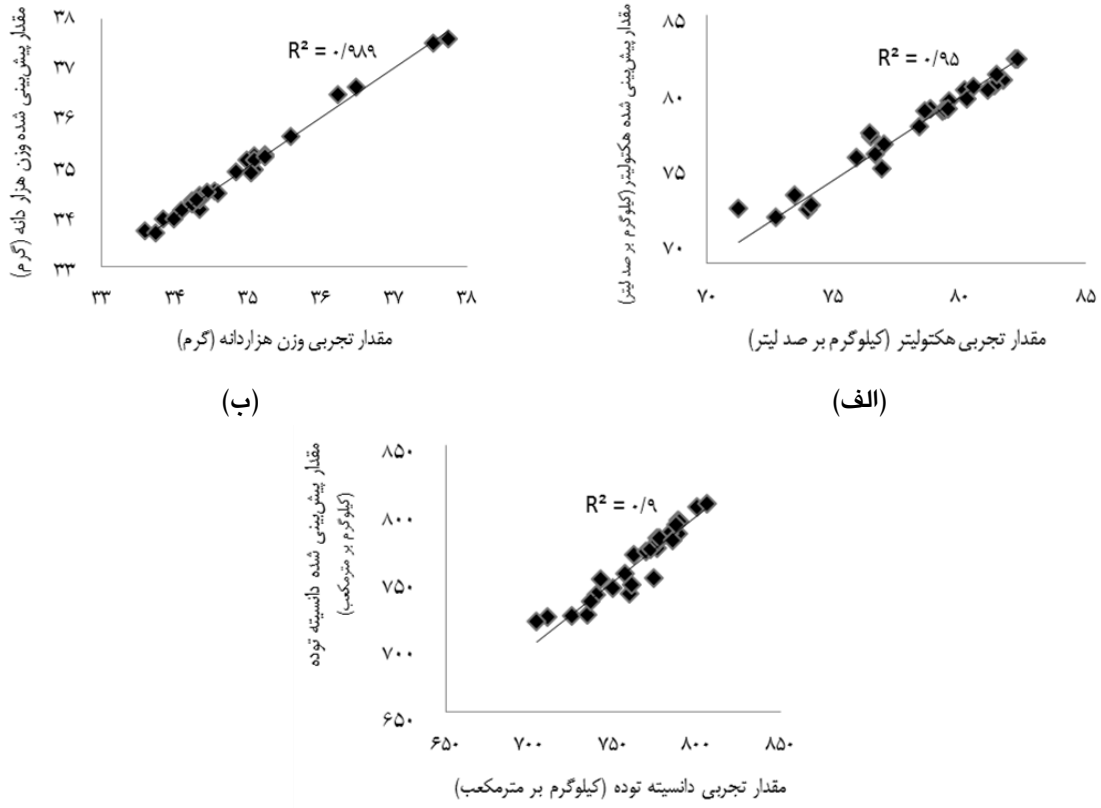
ترتیب برابر با ۰/۹۵۰، ۰/۹۸۹ و ۰/۹۰۸ بود. نمودار مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه در برابر مقادیر تجربی در شکل ۳ آمده است. داده‌ها به طور تصادفی در اطراف خط رگرسیونی با ضریب تبیین بالایی قرار گرفتند که این خود دلیلی بر ارزیابی دقیق شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی این ویژگی‌ها بود (مختاریان و همکاران ۱۳۹۰). مطابق جداول ۲ تا ۵، مقایسه میانگین دانکن میزان هکتولیتر در رقم مورد مطالعه با بالا رفتن سطوح رطوبتی، مدت زمان نگهداری و دما به ترتیب معادل ٦/٧٥، ۰/٤٢ و ۱/۹٤ در صد کاهش و با افزایش سطوح بوجاری ۲/۸۲ درصد افزایش یافت. میزان وزن هزار دانه با بالا رفتن سطوح رطوبتی معادل ٤/٥٠ درصد افزایش و با افزایش سطوح بوجاری از ٣٤/٤٠ به ٣٥/٥٥ گرم افزایش یافت. همچنین میزان دانسیته توده دانه گندم تحت تأثیر رطوبت در رطوبت ۱۰ درصد، تحت تأثیر بوجاری در سطح سوم، تحت تأثیر مدت زمان نگهداری در ماه اول و تحت تأثیر دمای نگهداری در سطح اول بالاترین مقدار بود و تمامی سطوح با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌دار ($P < ۰/۰۵$) داشتند.

ویژگی‌های میکروبی

طبق نتایج جدول ٦، برای ویژگی های شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک، شبکه پرسپترون چند لایه با یک لایه مخفی، چیدمانی با پنج ورودی، ٤ نرون در لایه پنهان و ۲ خروجی، با تابع محرک تانژانت هیپربولیک- تانژانت هیپربولیک و با تعداد تکرار ٤٠٠٠، بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی آنها در مقایسه با شبکه‌ی تابع پایه‌ی شعاعی داشت. این شبکه قادر به پیش‌بینی شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک با ضرایب تبیین به ترتیب برابر با ۰/۹۰۸ و ۰/۹۳۸ بود. نمودار مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه در برابر مقادیر تجربی در شکل ٤ آمده است. داده‌ها به طور تصادفی در اطراف خط رگرسیونی با ضریب تبیین بالا قرار گرفتند. بر طبق نتایج مقایسه میانگین دانکن (جداول ۲ تا ٦)، شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در رقم گندم مورد مطالعه با افزایش رطوبت، دمای نگهداری و با گذشت مدت زمان نگهداری به ترتیب ۲۵/۸، ۱۷/۲۹ و ۳۱ درصد افزایش و با بالا رفتن سطوح بوجاری ۲۳/٦ درصد کاهش یافت. میزان کپک با بالا رفتن سطوح رطوبتی، دما و مدت زمان نگهداری به ترتیب ۵۸/۵۲، ۸/۳ و ۲۳ درصد افزایش و با بالا رفتن سطوح بوجاری معادل ٢٤/٣٩ درصد کاهش یافت.

جدول ۱- مقایسه دو مدل شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی ویژگی‌های هکتولیتر، وزن هزار دانه و دانسیته‌ی توده در گندم

مدل شبکه	تابع محرک	قاعده یادگیری	تعداد تکرار	پارامترهای آماری	هکتولیتر	وزن هزاردانه	دانسیته توده
MLP	TanhAxon - TanhAxon	Momentum	۳۰۰۰	R^2	۰/۹۵۰۱۰۸	۰/۹۸۹٤٦٥	۰/۹۰۸۹۱٤
				NMSE (Normalised MSE)	۰/۰۵۱۷۳	۰/۰۱۰۵٤	۰/۱۱۲۷۳
				چیدمان		۳-۱۱-۵	
RBF	TanhAxon - TanhAxon	Momentum	۳۰۰۰	R^2	۰/۸۰۲٦۳٦	۰/۸۲۲۷۱٤	۰/۸۹۸۸۹٤
				NMSE	۰/۲۳۸۳۰٤	۰/۳٦٤٤۰۲	۰/۱۹۲۵۱۳
				چیدمان		۳-۱۱-۵	



شکل ۳- مقادیر پیش‌بینی شده و تجربی ویژگی‌های هکتولیتر (الف)، وزن هزار دانه (ب) و دانسیته‌ی توده (ج) توسط شبکه عصبی چند لایه پرسپترون همراه با تابع محرک تانژانت هیپربولیک- تانژانت هیپربولیک در گندم

جدول ۲ - مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی گندم تحت تأثیر رطوبت با آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P < ۰/۰۵$)

درصد رطوبت بر مبنای مرطوب	هکتولیتر (kg/100 lit)	وزن هزاردانه (گرم)	دانسیته توده (کیلوگرم بر متر مکعب)	شمارش کلی میکروارگانیسم (کلنی)	کپک (کلنی)
٪ ۱۰	۸۱/٤٥ a	۳٤/۳۷٥۰ c	۷۹۲/٦۸ a	۱۱٦۰۰ c	۱٤/٥٤ c
٪ ۱۲	۷۹/۳۳ b	۳٤/۷٥۸۳ b	۷۷۳/۰٤ b	۱۳۲۰۰ b	۲۱/٤۱ b
۱٤٪	۷٥/۹٥ c	۳٥/۹۲٥۰ a	۷٤۲/۰۲ c	۱٤٦۰۰ a	۲۳/۰٥ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی دانه‌ی گندم تحت تأثیر بوجاری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P < ۰/۰۵$)

درصد بوجاری	هکتولیتر (kg/100 lit)	وزن هزار دانه (گرم)	دانسیته توده (کیلوگرم بر متر مکعب)	شمارش کلی میکروارگانیسم (کلنی)	کپک (کلنی)
۰ درصد	۷۷/۹۳ c	۳٤/٤۰۸۳ c	۷٦۲/۰۷ c	۱٤۸۰۰ a	۲۲/٤۳۸۹ a
۵۰ درصد	۷۸/٦۷ b	۳٥/۰۹۱۷ b	۷٦٦/۸٤ b	۱۳۲۰۰ b	۱۹/٦۰۲۸ b
۱۰۰ درصد	۸۰/۱۳ a	۳٥/٥٥۸۳ a	۷۷۸/۸٤ a	۱۱۳۰۰ c	۱٦/۹٦۳۹ c

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی دانه‌ی گندم تحت تأثیر مدت زمان نگهداری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P < ۰/۰۵$)

مدت زمان نگهداری	هکتولیتر (kg/100 lit)	وزن هزاردانه (گرم)	دانسیته توده (کیلوگرم بر متر مکعب)	شمارش کلی میکروارگانیسم (کلنی)	کپک (کلنی)
۱ ماه	۷۹/۰۶ a	۳۵/۰۱۱۱ a	۷۷۶/۹۳ a	۱۱۳۰۰ c	۱۷/۶۸ c
۲ ماه	۷۸/۹٤ a	۳۵/۱۳٦۱ a	۷٦۹/۳٤ b	۱۳۲۰۰ b	۱۹/۵۵ b
۳ ماه	۷۸/۷۳ b	۳٤/۹۱۱۱ a	۷٦۱/٤۷ c	۱٤۸۰۰ a	۲۱/۷٦ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌دار ندارند.

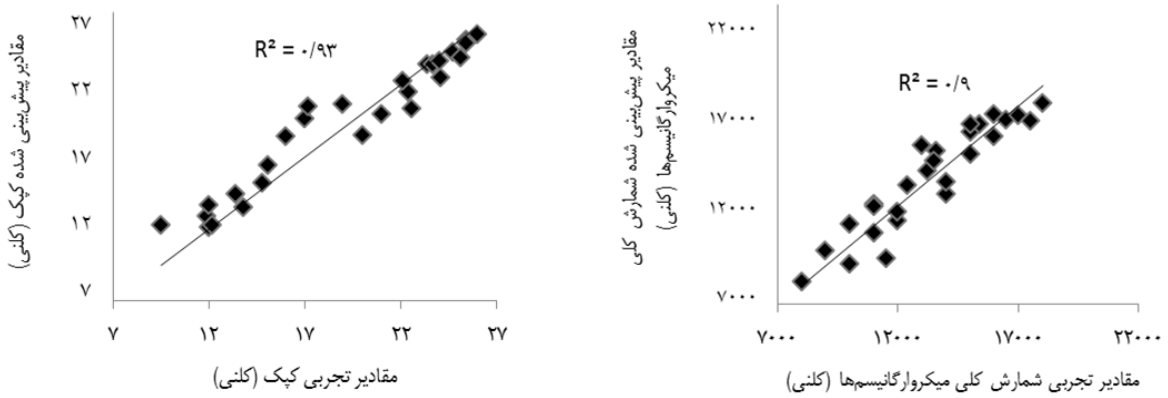
جدول ۵- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و میکروبی دانه‌ی گندم تحت تأثیر دمای نگهداری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P < ۰/۰۵$)

دما (°C)	هکتولیتر (kg/100 lit)	وزن هزاردانه (گرم)	دانسیته توده (کیلوگرم بر متر مکعب)	شمارش کلی میکروارگانیسم (کلنی)	کپک (کلنی)
۲۰	۷۹/٦٦ a	۳٤/۹۷ a	۷۷٦/۳۰ a	۱۲۰۹۸/۲۱ b	۱۸/۹۱ b
٤۰	۷۸/۱۱ b	۳۵/۰۷ a	۷٦۱/٦٤ b	۱٤۱۹۰/۳۸ a	۲۰/٤۹ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۶- مقایسه دو مدل شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی ویژگی‌های شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک در گندم

مدل شبکه	تابع محرک	قاعده یادگیری	تعداد تکرار	پارامترهای آماری	شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها	کپک
MLP	TanhAxon - TanhAxon	Momentum	٤۰۰۰	R^2	۰/۹۰۸۷۵٦	۰/۹۳۸۰۸۱
				NMSE	۰/۱۳٤۷۸۲	۰/۰۷۵۳۰٦
				چیدمان	۵-٤-۲	
RBF	TanhAxon - TanhAxon	Momentum	٤۰۰۰	R^2	۰/۰۱۲۸۸۹	۰/۲۷٦٤۹۷
				NMSE	۱/۰۲۹۹۵۸	۰/۹٦۷۳٦۷
				چیدمان	۵-٤-۲	



(الف) **(ب)**

شکل ۴- مقادیر پیش‌بینی‌شده و تجربی ویژگی‌های شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها (الف) و کپک (ب) توسط شبکه‌ی عصبی چند لایه پرسپترون در گندم

به‌طور کلی، شبکه‌ی پرسپترون چندلایه با یک لایه‌ی پنهان برای پیش‌بینی تمامی ویژگی‌ها، بهتر از شبکه‌ی تابع پایه‌ی شعاعی بود. این نتیجه‌گیری، مشابه نتایج کاشانی‌نژاد و همکاران (۲۰۰۹) و رجبی و همکاران (۱۳۹۰) و برخلاف نتایج سبلانی و شفیور (۲۰۰۳) و سبلانی و همکاران (۲۰۰۲) با دو لایه پنهان بود.

نتیجه‌گیری

شبکه پرسپترون چند لایه با یک لایه مخفی، با تابع محرک تانژانت هیپربولیک- تانژانت هیپربولیک، بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی تمامی ویژگی‌های مورد ارزیابی در مقایسه با شبکه‌ی تابع پایه‌ی شعاعی داشت. ضرایب تبیین برای ویژگی‌های هکتولیتر، وزن هزار دانه، دانسیته توده، شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و کپک‌ها در شبکه‌ی پرسپترون چند لایه به ترتیب برابر با ۰/۹۵۰، ۰/۹۸۹، ۰/۹۰۸، ۰/۹۰۸ و ۰/۹۳۸ و میانگین مربعات خطا برای آنها به ترتیب برابر با ۰/۰۵۱، ۰/۰۱۰، ۰/۱۱۲، ۰/۱۳٤ و ۰/۰۷۵ بودند.

سپاسگزاری

این مطالعه، بخشی از طرح پژوهشی ملی سفارش شده توسط شرکت غله و خدمات بازرگانی منطقه ۲ بوده و از حمایت مالی آن شرکت برخوردار بوده است. همچنین، از مساعدت و همکاری کارکنان آزمایشگاه اداره غله و خدمات بازرگانی استان گلستان، صمیمانه تشکر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

اسفندیاری درآباد ف، ۱۳۸۹، پیش‌بینی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه، مجله جغرافیا (فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، ۲۷، ٦٤-٤٥.

امیری‌چایجان ر، خوش‌تقاضا مه، منتظر غ، مینایی س، علیزاده مح، ۱۳۸۸، تخمین ضریب تبدیل شلتوک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در خشک کردن بستر سیال، مجله علوم و فنون کشاورزی و طبیعی، ٤٨، ۲۸۵- ۲۹۸.

بهنیا مر، ۱۳۷٦، غلات سردسیری، مؤسسه انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، ۳۹-٦۱،۳۱۱-۳٤۵.

پایان ر، ۱۳۸۵، مقدمه‌ای به تکنولوژی فرآورده‌های غلات، نشر آییژ، چاپ اول، ٤-۸، ۲۹-٥٤.

رجب‌زاده ن، ۱۳۷۵، تکنولوژی آماده‌سازی و نگهداری غلات، نشر دانشگاه امام رضا (ع) مشهد، چاپ اول، ۹۹- ۱۰۱، ۱۰۵- ۱۷۲.

رجبی م، شاهنوشی ن، فیروز ع، صالحی ف، ۱۳۹۰، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ضایعات نان، ۳۹٤- ۳۹۹. پنجمین همایش ملی بررسی ضایعات محصولات کشاورزی، تهران.

سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۳، غلات و حبوبات- اندازه‌گیری وزن هزاردانه- روش‌های آزمون، استاندارد ملی ایران، شماره ۷٦۲۹، چاپ اول.

سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸٦، میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام- روش جامع برای شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در ۳۰ درجه سلیسیوس، استاندارد ملی ایران، شماره ۵۲۷۲، تجدیدنظر اول.

سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۷، میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام- روش جامع برای شمارش کپک‌ها و مخمرها- قسمت دوم: روش شمارش کلنی در فرآورده‌های با فعالیت آبی (aw) مساوی یا کمتر از ۰/۹۵، استاندارد ملی ایران، شماره ۲-۱۰۸۹۹، چاپ اول.

سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۹، غلات - اندازه‌گیری وزن در هکتولیتر (وزن ظاهری)- قسمت ۳: روش متداول، استاندارد ملی ایران، شماره ۳-۸۱٦٤، چاپ اول.

سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۹، غلات – اندازه‌گیری وزن در هکتولیتر (وزن ظاهری)- قسمت ۱: روش مرجع، استاندارد ملی ایران، شماره ۱-۸۱٦٤، تجدیدنظر اول.

سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۹، غلات و فرآورده‌های آن- روش اندازه‌گیری رطوبت- روش مرجع، استاندارد ملی ایران، شماره ۲۷۰۵، تجدیدنظر اول.

صداقت‌کردار ع، فتاحی الف، ۱۳۸۷، شاخص‌های پیش‌آگاهی خشک‌سالی در ایران، مجله جغرافیا و توسعه دانشگاه سیستان و بلوچستان، جلد ٦، شماره ۱۱، ۵۹- ۷٦.

کیاء س‌م، ۱۳۸۹، محاسبات نرم در متلب، انتشارات کیان رایانه سبز، ٦۲۳ صفحه.

مختاریان م، شفافی‌زنوزیان م، ۱۳۹۰، پیش‌بینی سینتیک فرآیند آبگیری اسمزی کدوی حلوایی به کمک ابزار هوشمند شبکه‌ی عصبی مصنوعی در حالت استاتیک، مجله علوم و فناوری غذایی، ۱، ٦۱-۷۳.

مختاریان م، شفافی م، آرمین م، کوشکی ف، ۱۳۹۰، کاربرد روش ترکیبی سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی سینتیک خشک کردن یک ماده غذایی تحت شرایط مختلف خشک کردن، فصلنامه‌ی علوم و فناوری غذایی، سال سوم، شماره چهارم، ۵۱- ٦٦.

مظاهری د، مجنون‌حسینی ن، ۱۳۸۵، مبانی زراعت عمومی، انتشارات دانشگاه تهران.

Farkas I, Reme´nyi P and Biro´ A, 2000. Modelling aspects of grain drying with a neural network. Computers and Electronics in Agriculture 29: 99–113.

Haykin S, 1999. Neural networks, Macmillan College Publishing Company.

Kashaninejad M, Dehghanib AA and Kashiria M, 2009. Modeling of wheat soaking using two artificial neural networks (MLP and RBF). Journal of Food Engineering 91(4): 602-607.

Lertworasirikul S and Tipsuwan Y, 2008. Moisture content and water activity prediction of semi-finished cassava crackers from drying process with artificial neural network. Journal of Food Engineering 84:65–74.

Marinia F, Buccia R, Magrìa A, Magrìa A, Acquistuccib R and Franciscib R, 2008. Classification of *6 durum* wheat cultivars from Sicily (Italy) using artificial neural networks. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 90(15):1-7.

Mohsenin N, 1980. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gorden and Breach.

Sablani S and Shafiur RM, 2003. Using neural networks to predict thermal conductivity of food as a function of moisture content, temperature and apparent porosity. Food Research International 36: 617–623.

Sablani S, Baik OD and Marcotte M, 2002. Neural networks for predicting thermal conductivity of bakery products. Journal of Food Engineering 52: 299–304.

Sajikumar N, Thandaveswara BS, 1999. Non Liner rainfall runoff Model using artificial neural network. Journal of Haydrology 216: 32-35.

Evaluation of artificial neural networks (ANNs) in predicting the effects of cleaning, moisture content, temperature and time on the physical and microbial characteristics of wheat

E Alehosseini[1], SM Jafari[2]*, A Motamedzadegan[3] and A Alehosseini[4]

Received: May 10, 2015 Accepted: January 12, 2016

[1]Graduated MSc, Department of Food Materials and Process Design Engineering, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Science and Research Branch, Amol, Iran
[2]Associate Professor, Department of Food Materials and Process Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Gorgan, Iran
[3]Associate Professor, Department of Food Materials and Process Design Engineering, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Science and Research Branch, Amol, Iran
[4]PhD Student, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran
*Corresponding author: E mail: smjafari@gau.ac.ir

Abstract

Evaluation of physical characteristics of wheat grain during transportation, separation and storage of this valuable product plays a critical role. In this study, in the first step, effects of cleaning, moisture content, storage temperature and time, on some physical (hectoliter, thousand seed weight, and bulk density) and microbial (total count of microorganisms and mold counts) properties of wheat grain variety n-80 was determined and then obtained data were simulated by two Artificial Neural Network models including multilayer perceptron and radial basis function with different threshold functions and the data predicted by the ANNs were compared with experimental data. Our results revealed that multilayer perceptron network model with one hidden layer, and a TanhAxon – TanhAxon function of stimulus for the physical characteristics, with a structure of (5-11-3) including 5 inputs, 11 neurons in the hidden layer, and 3 outputs, with epoch of 3000, and also for microbial characteristics, with a structure of (5-4-2) including 5 inputs, 4 neurons in the hidden layer, and 2 outputs, with epoch of 4000, were the best ANN models for data predicting compared with radial basis function networks. Determination coefficients (R^2) of hectoliter, thousand seed weight, bulk density, total count of microorganisms and mold count in multilayer perceptron network were 0.95, 0.989, 0.908, 0.908, and 0.938, respectively. The hectoliter and bulk density decreased with increasing levels of moisture content, storage time and temperature while they were increased with the rise of cleaning level. Also, the total count of microorganisms and mold count increased with increasing levels of moisture content, storage temperature and time and decreased with increasing levels of cleaning.

Keywords: Artificial Neural Networks, Multilayer Perceptron model, Radial basis function Model, Physical and microbial characteristics