

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه توزین تخم‌مرغ به کمک سنسور خازنی و شبکه عصبی

سامان خلیلی^۱ - بهزاد محمدی الستی^{۲*} - مهدی عباسقلی پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

چکیده

درجه‌بندی محصولات کشاورزی برای عرضه به بازارهای داخلی و خارجی همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. درجه‌بندی براساس پارامترهای مختلفی از جمله رنگ، رسیدگی، ابعاد و وزن انجام می‌گردد. وزن محصول در اکثر موارد از پارامترهای مؤثر در درجه‌بندی می‌باشد. در درجه‌بندی محصول تخم‌مرغ نیز، میزان درشتی در بازاریابی بسیار مهم می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه توزین تخم‌مرغ براساس خواص دی‌الکترونیک آن بوده است. یک نمونه از این دستگاه طراحی و ساخته شد. دستگاه طراحی شده از بدنه، منبع تغذیه، واحد تولید سیگنال سینوسی، واحد اندازه‌گیری ولتاژ، میکروکنترلر AVR، واحد ارتباط با کامپیوتر (PORT COM)، حسگر خازنی، نمایشگر و صفحه کلید تشکیل شده است و از شبکه عصبی برای پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ استفاده شده است. شبکه عصبی ساخته شده ۱۶ مقدار ولتاژ در بسامدهای مختلف را به‌عنوان ورودی دریافت نموده و مقدار وزن را به‌عنوان خروجی ارائه می‌دهد. برای واسنجی و ارزیابی دستگاه توزین، ۱۵۰ عدد تخم‌مرغ مورد نیاز از یک واحد مرغداری به‌صورت تازه و در روز تخم‌گذاری تهیه گردید. آزمایش به سه دسته تقسیم شد. دسته اول در روز تخم‌گذاری، دسته دوم در روز دوم انبارداری و دسته سوم در روز چهارم انبارداری مورد آزمایش قرار گرفتند. بهترین نتایج با شبکه عصبی سه‌لایه دارای ۱۰ نرون در لایه مخفی اول و ۷ نرون در لایه مخفی دوم با بیشترین ضریب همبستگی ۰/۹۸۳ و کمترین خطا ۰/۵۰۲ به‌دست آمد و بنابراین از شبکه با مشخصات مذکور برای پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: تخم‌مرغ، دستگاه توزین، سنسور خازنی، شبکه عصبی

مقدمه

بنابراین تولید تخم‌مرغ در کشور یک مسئله مهم تلقی می‌شود که هم در سلامتی جامعه مؤثر است و هم به‌عنوان یک کالای پرسود می‌تواند بازار داخلی را تأمین کند. اما برای کسب سود بالاتر و بازارپسندی بیشتر، محصول تولید شده باید درجه‌بندی شود. امروزه درجه‌بندی محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. چه در امر صادرات و چه در ارائه به بازار داخلی و تأمین نیاز کشور، محصول درجه‌بندی شده سودآوری بیشتر و جذب و رضایت مشتری را به‌دنبال دارد. در مورد تخم‌مرغ نیز این موضوع صادق است. تخم‌مرغ‌های درشت را می‌توان با ارائه به بازار مصرف خانگی که به شکل عددی فروخته می‌شود با قیمت بالاتری به فروش رساند. تخم‌مرغ‌های ریزتر را نیز می‌توان در بازارهای صنعتی مثل شیرینی‌پزی‌ها که تخم‌مرغ مورد نیاز را به شکل کیلویی تهیه می‌کنند، با همان قیمت قبلی به فروش رساند. عملیات درجه‌بندی به شکل دستی معمولاً سخت و طاقت‌فرسا می‌باشد که اپراتور را در طی روز دچار خستگی نموده، خطای انسانی و همچنین هزینه عملیات را بالا می‌برد و از طرف دیگر سرعت انجام عملیات درجه‌بندی به کمک یک دستگاه خودکار بالطبع از اپراتور بالاتر خواهد بود. بنابراین ساخت یک دستگاه که بتواند تخم‌مرغ را درجه‌بندی کند، مفید و به‌صرفه به‌نظر می‌رسد. وزن

تخم‌مرغ یکی از مواد غذایی بسیار مهم در سبد مصرف خانوار می‌باشد که حاوی چهار ماده غذایی بسیار مهم شامل پروتئین، چربی، ویتامین‌ها و مواد معدنی است (Narushin et al., 2002). یک تخم‌مرغ متوسط، دارای انرژی‌زایی حدود ۷۸ کیلوکالری (۳۲۴ کیلوژول) می‌باشد و مصرف یک عدد تخم‌مرغ به‌صورت روزانه، می‌تواند حدود ۳٪ انرژی مورد نیاز یک زن بالغ و ۴٪ انرژی یک مرد بالغ را تأمین نماید. در مقیاس ارزیابی پروتئین مواد غذایی، تخم‌مرغ در بالاترین ردیف قرار دارد و به‌عنوان استاندارد مرجع برای تشخیص کیفیت پروتئین سایر مواد غذایی به‌کار می‌رود. تخم‌مرغ منبع تمام انواع ویتامین‌های گروه B، منبع بسیار عالی ید و از منابع عمده سلنیوم می‌باشد. با توجه به توانایی این محصول در رفع احتیاجات بدن، افراد بالغ مجاز به مصرف ۳-۴ عدد تخم‌مرغ در هفته هستند.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم کشاورزی، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران
۲ و ۳- استادیاران گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم کشاورزی، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران
(* نویسنده مسئول: Email: Behzad.alasti@gmail.com)

تخم‌مرغ در طی انبارداری کاهش می‌یافت (Aboonajmi *et al.*, 2010).

رگنی و همکاران از تکنیک هادی موج^۲ برای کیفیت‌سنجی تخم‌مرغ استفاده نمودند. آنها گزارش دادند که در بسامد نزدیک به ۱۰/۹۵ گیگاهرتز نتایج بهتری به دست آمده است (Ragni *et al.*, 2010).

اسدی و همکاران از یک سامانه ماشین‌بینایی در پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ استفاده نمودند. آنها گزارش دادند پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ به کمک سطح و شعاع مؤثر آن بهترین نتایج را داشت و همبستگی بسیار خوبی بین میزان اندازه‌گیری شده و مقدار پیش‌بینی شده مشاهده شد که با دقت ۹۵٪ توانسته بود وزن تخم‌مرغ را پیش‌بینی نماید (Asadi *et al.*, 2012).

هدف از این تحقیق، طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاهی است که بتواند وزن تخم‌مرغ را به‌وسیله یک سنسور خازنی که از دو صفحه موازی تشکیل شده است پیش‌بینی نموده و درجه ریز و درشتی آن را بیان کند. تخم‌مرغ‌های سنگین‌تر به‌عنوان ماده دی‌الکتریک بزرگتر باعث افزایش بیشتر ظرفیت خازن شده و بدین ترتیب با استخراج رابطه ظرفیت خازن-وزن تخم‌مرغ می‌توان وزن نمونه را پیش‌بینی نمود.

مواد و روش‌ها

روش کار دستگاه

برای اجرای این تحقیق، مراحل کار به بخش‌های طراحی و ساخت بخش سخت‌افزاری دستگاه، نوشتن کدهای بخش نرم‌افزاری دستگاه به‌منظور جمع‌آوری داده، انجام آزمایشات غیرمخرب و جمع‌آوری داده، تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده به کمک هوش مصنوعی، وارد کردن نتایج تحلیل به دستگاه و واسنجی آن در قالب کدهای نرم‌افزاری تقسیم شد.

دستگاه طراحی شده از بدنه، منبع تغذیه، واحد تولید سیگنال سینوسی، واحد اندازه‌گیری ولتاژ، میکروکنترلر AVR، واحد ارتباط با کامپیوتر (PORT COM)، حسگر خازنی، نمایشگر و صفحه کلید تشکیل شده است. شکل ۱ بدنه مدل شده در محیط کتیا را نشان می‌دهد.

هرچه تعداد داده‌برداری بیشتر باشد و بتوان در تعداد فرکانس‌های بیشتری آزمایش را انجام داد، مشخصات بیشتری از یک نمونه تخم‌مرغ به‌دست می‌آید و دستگاه بهتر می‌تواند وزن آن را پیش‌بینی نماید. اگر یک مدار بتواند به شکل الکترونیکی تغییرات مقاومت را اعمال کند، آنگاه سرعت داده‌برداری و همچنین تعداد داده‌برداری به نحو چشم‌گیری افزایش می‌یابد.

تخم‌مرغ رابطه مستقیمی با ریزی و درشتی تخم‌مرغ دارد، به‌طوری‌که تخم‌مرغ سنگین‌تر درشت‌تر است و برعکس. بنابراین اگر تخم‌مرغ براساس وزن درجه‌بندی شود، مانند این است که براساس ریزی و درشتی درجه‌بندی شده است.

در سال‌های اخیر تحقیقات فراوانی انجام شده که در آنها از فن‌آوری‌های جدید و هوش مصنوعی برای درجه‌بندی و یا سورتینگ محصولات کشاورزی استفاده شده است. همچنین حسگر خازنی نیز کاربرد فراوانی در کیفیت‌سنجی محصولات پیدا کرده است. پاتل و همکاران تحقیقی بر روی تشخیص عیوب تخم‌مرغ انجام دادند. اهداف آنها عبارت بود از توسعه دستگاهی که به‌وسیله ماشین‌بینایی و شبکه عصبی بتواند عیوب تخم‌مرغ را تشخیص دهد (Patel *et al.*, 1998).

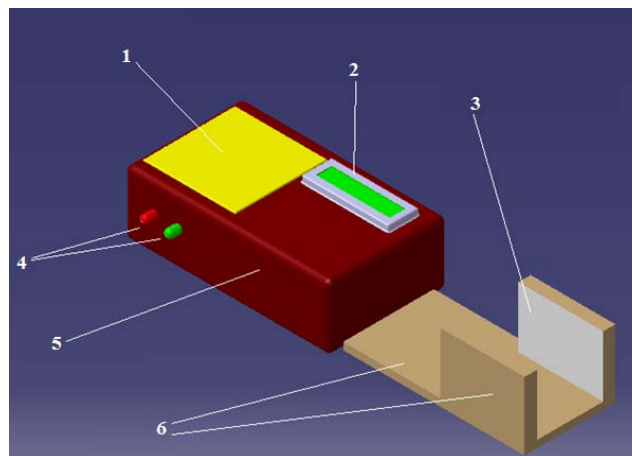
گارسیا الگر و همکاران سامانه‌ای را به‌منظور تشخیص عیوب تخم‌مرغ طراحی کردند. هدف اصلی آنها ساخت دستگاهی بود که تمام عیوبی (شامل عیوب شکلی، رنگی و برآمدگی) را که روی پوسته تخم‌مرغ وجود دارد، تشخیص دهد. در این تحقیق از یک دوربین CCD برای تصویربرداری برخط^۱ از تخم‌مرغ‌ها استفاده شد. اختلاف اندک در شدت و رنگ بین عیوب مهمترین مسئله‌ای بود که باید برطرف می‌شد (Garcia-Alegre *et al.*, 1998).

کوچیدا و همکاران روشی را برای پیش‌بینی نسبت زرده به سفیده تخم‌مرغ ارائه دادند. پس از وزن کردن نمونه‌ها، تخم‌مرغ‌ها درون اتاقک تاریک قرار گرفته و پرتو نوری به آن تابانده می‌شد. به‌منظور واسنجی سامانه، عکس‌هایی از چهار طرف نمونه‌ها تهیه شده و سپس آزمایش مخرب برای تعیین دقیق نسبت زرده به سفیده هر نمونه انجام گرفت (Kuchida *et al.*, 1999).

مرتس و همکاران تحقیقی روی تشخیص لکه‌های کثیفی تخم‌مرغ قهوه‌ای به کمک ماشین‌بینایی انجام دادند. در این تحقیق از ۱۰۰ نمونه پاکیزه و ۱۰۰ نمونه کثیف برای اعتبارسنجی الگوریتم دسته‌بندی استفاده شد. دستگاه طراحی شده با دقت ۹۹٪ می‌توانست لکه‌های کثیفی را تشخیص دهد (Mertens *et al.*, 2005).

لورنس و همکاران یک سامانه عکس‌برداری را ارائه دادند تا به افراد خبره در تشخیص ریز ترک‌های پوسته تخم‌مرغ کمک کند. آنها از یک الگوریتم برای تحلیل عکس‌ها و مقایسه این دو نوع عکس استفاده نمودند. دستگاه با دقت ۹۹/۶٪ می‌توانست تخم‌مرغ‌های سالم را از ناسالم تشخیص دهد (Lawrence *et al.*, 2009).

ابونجمی و همکاران امکان‌سنجی پیش‌بینی خواص کیفی تخم‌مرغ را با محاسبه سرعت فراصوت در تخم‌مرغ بررسی کردند. آنها گزارش دادند که سرعت فراصوت در دو گروه نمونه مورد استفاده در تحقیق، به‌طور معنی‌داری متفاوت بود. همچنین سرعت فراصوت در



شکل ۱- بدنه مدل شده در محیط نرم افزار Catia

۱. صفحه کلید، ۲. نمایشگر، ۳. صفحات حسگر، ۴. چراغ هشدار، ۵. قاب پلاستیکی و ۶. بدنه چوبی

Fig.1. Structure of system (modeled in CATIA)

1. Keyboard, 2. Monitor, 3. Sensor planes, 4. Alarm lamps, 5. Plastic shield, 6. Wooden body

همچنین برای اینکه دستگاه ساخته شده بتواند به طور هوشمند و مبتنی بر علم هوش مصنوعی تخم مرغ را درجه بندی نماید، ناگزیر باید با رایانه ارتباط داشته باشد. برای رفع این نیاز از تراشه Max0232 برای ارتباط با کامپیوتر استفاده شد.

از نرم افزار MATLAB 2012b نیز برای ارتباط دستگاه با کامپیوتر، داده برداری، جمع آوری داده، تجزیه و تحلیل داده ها، تشکیل شبکه های عصبی، آموزش و ارزیابی شبکه های توسعه داده شده و به طور کل کار با دستگاه استفاده شده است.

تهیه نمونه تخم مرغ

نمونه های تخم مرغ مورد نیاز از یک واحد مرغداری به صورت تازه و در روز تخم گذاری تهیه گردید. آزمایشات دی الکتریک (که در صفحات بعدی توضیح داده می شود) و اندازه گیری وزن تخم مرغ پس از تهیه نمونه آغاز گردید. نمونه ها در محیط آزمایشگاهی و در دمای 25°C و رطوبت نسبی ۳۵٪ نگهداری شد. وزن نمونه ها به وسیله یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه گیری شد.

شبکه عصبی

یک شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۱ ایده ای است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز به پردازش اطلاعات می پردازد. عموماً یک سلول عصبی بیش از یک ورودی دارد و هر کدام از ورودی های مجزا در وزن متناظر خود ضرب می شوند. بنابراین می توان ورودی ها را به صورت بردار p و وزن ها را

روش کار به این شکل است که با تغییر مقدار مقاومت ارسالی به تراشه XR2206 (واحد مولد موج با سیگنال سینوسی)، بسامد تولیدی نیز تغییر می کند. بنابراین با ایجاد ۱۶ حالت، ۱۶ بسامد مختلف تولید می شود. در نهایت برای یک نمونه تخم مرغ ۱۶ بسامد تولید شده و داده های مربوط به هر بسامد نیز ذخیره می شود.

با گذاشتن ماده دی الکتریک در بین صفحات یک خازن، ظرفیت آن افزایش می یابد. حال اگر نمونه تخم مرغ بین صفحات خازن قرار گیرد، با توجه به اندازه آن، اثرات مختلفی روی ظرفیت خازن ایجاد خواهد شد. مثلاً اگر نمونه درشت تر باشد ظرفیت خازن بیشتر شده و برعکس.

در این تحقیق هدف اندازه گیری پارامترهای دی الکتریک تخم مرغ نیست، بلکه از حسگر خازنی برای پیش بینی وزن تخم مرغ استفاده شده است. بنابراین تنها اندازه گیری ولتاژ خروجی از حسگر که متناسب با ابعاد و اندازه تخم مرغ است، کافی به نظر می رسد. برای اندازه گیری ولتاژ خروجی از سنسور از تراشه AD736 استفاده شده است. ولتاژ ورودی همانطور که قبلاً ذکر شد، از نوع سینوسی می باشد. بنابراین ولتاژ خروجی نیز سینوسی می باشد و میکروکنترلر نمی تواند مقدار دقیقی از آن قرائت کند. علاوه بر این در اندازه گیری ولتاژ سینوسی معمولاً مقدار جذر متوسط مربع (rms) بیان می شود و با V_{rms} نشان داده می شود. ولتاژ خروجی از حسگر وارد پایه ۲ تراشه AD736 شده و مقدار rms آن از پایه ۶ قابل اندازه گیری می باشد. خروجی پایه ۶ به میکروکنترلر ارسال و قرائت شده و در کامپیوتر ذخیره می گردد.

با توجه به حجم اطلاعات استخراجی حین داده برداری نیاز بود که دستگاه پارامترهای اندازه گیری شده را به یک رایانه ارسال نماید.

1- Artificial Neural Network (ANN)

که در آن P_i مقدار پیش‌بینی شده، t_i مقدار واقعی و n تعداد نمونه می‌باشد.

نتایج و بحث

دستگاه توزین ساخته شده

شکل ۳ دستگاه ساخته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. کمترین بسامد تولید شده در دستگاه ۳۵/۷ kHz و بیشترین بسامد ۳۱۲/۵ kHz می‌باشد.

آزمایش دی‌الکتریک

مشخصات وزنی ۱۲۵ عدد نمونه تهیه شده برای آموزش و ارزیابی شبکه‌های عصبی استفاده شد (جدول ۱). همانطور که مشاهده می‌شود، نمونه‌ها تقریباً در بازه ریز (۵۳ گرم) تا درشت (بزرگتر از ۷۳ گرم) پراکنده شده‌اند.

جدول ۱- پراکندگی وزن نمونه‌های تهیه شده

Table 1- Distribution of the weight of the provided samples

کمترین	بیشترین	انحراف معیار	میانگین
Min (gr)	Max (gr)	Standard deviation	Average (gr)
50.04	74.57	3.19	60.05

جدول ۲ ضریب همبستگی (R) بین ولتاژ قرائت شده و وزن نمونه قرار داده شده درون حسگر را نشان می‌دهد. اگر همه این بسامدها در یک شبکه عصبی دخالت داده شوند، آنگاه دستگاه توزین هوشمند شده به راحتی می‌تواند وزن تخم‌مرغ را پیش‌بینی نماید.

معماری شبکه عصبی

برای اینکه بتوان یک شبکه عصبی قدرتمند را برای پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ انتخاب نمود، باید مدل‌های مختلفی را مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق دو سری شبکه ساخته و ارزیابی شد. سری اول شبکه‌های دولایه و سری دوم شبکه‌های سه‌لایه طراحی گردید.

در شبکه عصبی دو لایه تعداد نرون لایه مخفی از ۲ تا ۱۰ تغییر داده شد. همانطور که قبلاً توضیح داده شد، بردار ورودی شامل ۱۶ ولتاژ در بسامدهای مختلف و بردار خروجی شامل یک مقدار (وزن نمونه) می‌باشد.

نتایج حاصل برای شبکه‌های دولایه در جدول ۳ ارائه شده است. تقریباً در همه موارد نتایج قابل قبولی حاصل شده است. با توجه به جدول، شبکه دولایه با ۱۰ نرون بهترین نتایج (بیشترین مقدار R و کمترین مقدار RMSE) را ارائه داده است و به‌عنوان کاراترین شبکه

به‌صورت ماتریس W و b را به‌عنوان بایاس تعریف نمود. افزودن بایاس موجب می‌شود تا استفاده از شبکه پرسپترون با سهولت بیشتری انجام شود. بایاس به‌صورت یک ورودی با مقدار ثابت ۱ در نظر گرفته می‌شود. بعد سطری ماتریس w برای هر لایه برابر است با تعداد پارامترهای ورودی به لایه ضرب در تعداد نرون‌های هر لایه به اضافه ۱ (که وزن بایاس می‌باشد) و تعداد ستون‌های آن برابر تعداد لایه‌های شبکه می‌باشد.

شبکه عصبی ساخته شده در این تحقیق از دو نوع دولایه و سه لایه انتخاب شده است که لایه‌های مخفی دارای تعداد متغیر نرون و لایه آخر که خروجی می‌باشد، یک نرون دارد. داده‌های ورودی همان ولتاژ دی‌الکتریک است که به‌وسیله سنسور خازنی برای هر نمونه تخم‌مرغ استخراج شده است. تعداد این پارامترها ۱۶ عدد است، یعنی تعداد ورودی شبکه ۱۶ عنصر می‌باشد (شکل ۲).

برای ایجاد شبکه‌های عصبی از نرم‌افزار MATLAB 2012b (8.0.0) و از بخش Neural Network Toolbox (nntool) استفاده شد. در تنظیمات شبکه، داده‌های ورودی‌ها (Input data) و داده‌های هدف (Target data) شبکه مشخص شدند. ورودی‌های شبکه ولتاژهای قرائت شده و داده‌های هدف، وزن نمونه‌ها می‌باشد. نوع شبکه عصبی Feed-forward backprop انتخاب شد. معمولاً از این نوع شبکه در پیش‌بینی خواص مختلف محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. از الگوریتم Levenberg-Marquardt نیز برای کمینه کردن خطا استفاده شده است. از تابع فعال‌ساز tansig برای لایه مخفی و از تابع purelin هم برای لایه خروجی استفاده شده است. پس از ایجاد شبکه، مرحله آموزش آن توسط نرم‌افزار انجام شده و نتایج آموزش به‌صورت نمودار و داده استخراج گردید. نرم‌افزار به‌طور تصادفی ۷۰٪ داده‌ها را برای آموزش^۱ شبکه، ۱۵٪ داده‌ها را برای اعتبارسنجی^۲ و ۱۵٪ داده‌ها را برای آزمایش انتخاب می‌کند. در پایان شبکه‌های ایجاد شده ذخیره گردید تا پس از تحلیل داده‌ها بهترین شبکه انتخاب شود.

میزان کارایی یک شبکه با دو پارامتر آماری ضریب همبستگی (R) و مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مشخص می‌شود. R بیشتر و RMSE کمتر کارایی بیشتر شبکه را مشخص می‌کنند. فرمول محاسبه این دو پارامتر در زیر ارائه شده است.

$$RMSE = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(P_i - t_i)^2}{n}} \quad (1)$$

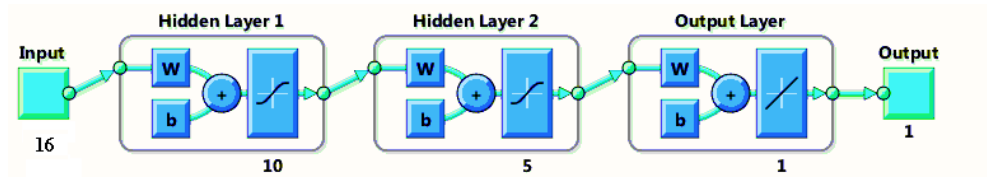
$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n P_i t_i - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right) \left(\sum_{i=1}^n P_i \right)}{\sqrt{\left[n \left(\sum_{i=1}^n t_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2 \right] \left[n \left(\sum_{i=1}^n P_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n P_i \right)^2 \right}}} \quad (2)$$

1- Train

2- Cross validation

قرارداده شد و تعداد نرون لایه دوم از یک تا ۲۰ تغییر داده شد. نتایج حاصل برای شبکه‌های سه لایه در جدول ۴ آورده شده است.

دولایه می‌تواند انتخاب شود. شبکه‌های عصبی سه لایه از دولایه مخفی تشکیل شده‌اند. تعداد نرون لایه مخفی اول بنا به پیش فرض نرم افزار MATLAB برابر ۱۰



شکل ۲- شبکه عصبی ایجاد شده در نرم افزار MATLAB

Fig. 2. Neural network (constructed in MATLAB)



شکل ۳- دستگاه توزین تخم مرغ ساخته شده

Fig.3. The built system for eggs weighing

جدول ۲- ضریب همبستگی بین ولتاژ خروجی از حسگر و وزن نمونه تخم مرغ

Table 2- Coefficient of correlation between outgoing voltage from sensor and egg weight

بسامد Frequency (kHz)	ضریب همبستگی Coefficient of correlation	بسامد Frequency (kHz)	ضریب همبستگی Coefficient of correlation
35.7	0.641	73.53	0.817
37.88	0.814	86.21	0.812
39.06	0.827	89.29	0.813
46.30	0.831	100.00	0.804
50.00	0.820	119.05	0.860
54.35	0.817	156.25	0.809
59.52	0.823	208.00	-0.053
69.44	0.813	312.50	-0.34

جدول ۳- شاخص‌های آماری به منظور مقایسه شبکه‌های عصبی دولایه برای پیش بینی وزن تخم مرغ

Table 3- Statistic indices for comparison of 2-layer neural networks used for prediction of eggs weight

تعداد نرون لایه مخفی Neurons in hidden layer	R_{Train}	$R_{Validation}$	R_{Test}	R_{Total}	RMSE
2	0.920	0.864	0.906	0.911	2.831
3	0.924	0.916	0.867	0.919	2.634
4	0.923	0.910	0.8379	0.914	1.81
5	0.913	0.897	0.932	0.915	2.49
6	0.925	0.923	0.965	0.93	4.29
7	0.868	0.874	0.931	0.874	6.702
8	0.927	0.862	0.919	0.916	2.27
9	0.934	0.914	0.884	0.925	1.917
10	0.943	0.941	0.896	0.935	1.227

جدول ۴- مقایسه شبکه‌های عصبی سه‌لایه در پیش‌بینی وزن تخم‌مرغ

Table 4- Statistic indices for comparison of 3-layer neural networks used for prediction of eggs weight

تعداد نرون لایه مخفی دوم Neurons in second hidden layer	R _{Train}	R _{Validation}	R _{Test}	R _{Total}	RMSE
1	0.913	0.937	0.929	0.920	2.4
2	0.931	0.834	0.866	0.913	4.944
3	0.963	0.912	0.785	0.934	3.215
4	0.960	0.923	0.964	0.956	1.528
5	0.957	0.958	0.927	0.951	1.127
6	0.946	0.900	0.903	0.853	4.782
7	0.98	0.991	0.978	0.983	0.502
8	0.966	0.898	0.975	0.957	2.05
9	0.938	0.896	0.942	0.934	2.056
10	0.961	0.96	0.97	0.963	0.625
20	0.964	0.969	0.962	0.963	0.819

اندازه‌گیری شده و از روش بلاند-آلتمن (Bland and Altman, 1999) برای رسم نمودار تطابق بین مقادیر تخمینی و واقعی وزن استفاده شد.

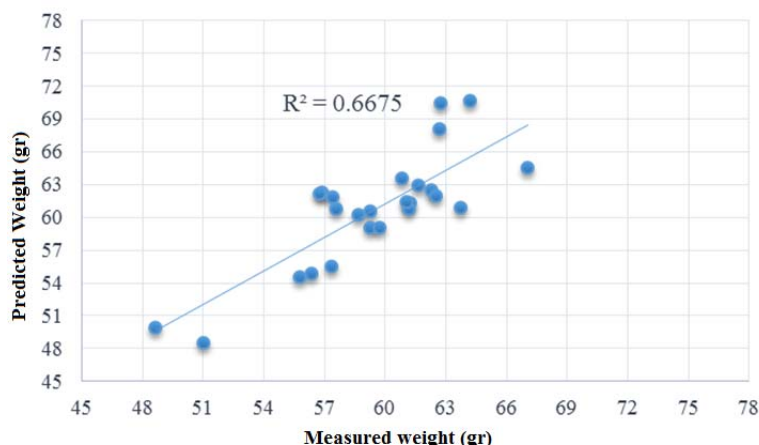
براساس یافته‌ها حداکثر اختلاف بین مقدار واقعی و پیش‌بینی شده ۵/۴ گرم مشاهده شد که مربوط به نمونه خیلی درشت است. شکل ۴ نمودار رگرسیونی وزن واقعی و وزن پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. همچنین میانگین خطای مطلق ۲/۲۱ گرم و میانگین درصد خطای مطلق برابر ۳/۷۵٪ به دست آمد. وانگ و همکاران از تکنیک ماشین‌بینایی برای پیش‌بینی حجم تخم‌مرغ استفاده نمودند و گزارش دادند که محدوده تطابق برای حجم تخم‌مرغ بین ۰/۶۸۴ میلی‌لیتر و ۳/۰۶۶ میلی‌لیتر بوده است. همچنین میانگین درصد خطا را ۳/۲۳٪ به دست آوردند (Wang et al., 2007).

با مقایسه جداول ۳ و ۴ می‌توان دریافت که در مجموع شبکه‌های سه‌لایه کارایی بیشتری را از خود نشان دادند. از بین شبکه سه‌لایه، شبکه با ۷ نرون با بیشترین مقادیر ضریب همبستگی و کمترین مقدار خطا مناسب‌ترین شبکه می‌باشد. این شبکه حتی از شبکه دو لایه ۱۰ نرون نیز کارتر می‌باشد. بنابراین ساختار ۱-۷-۱۰-۱۶ مناسب‌ترین مورد بوده و برای کالیبراسیون دستگاه توزین انتخاب می‌گردد.

ارزیابی دستگاه

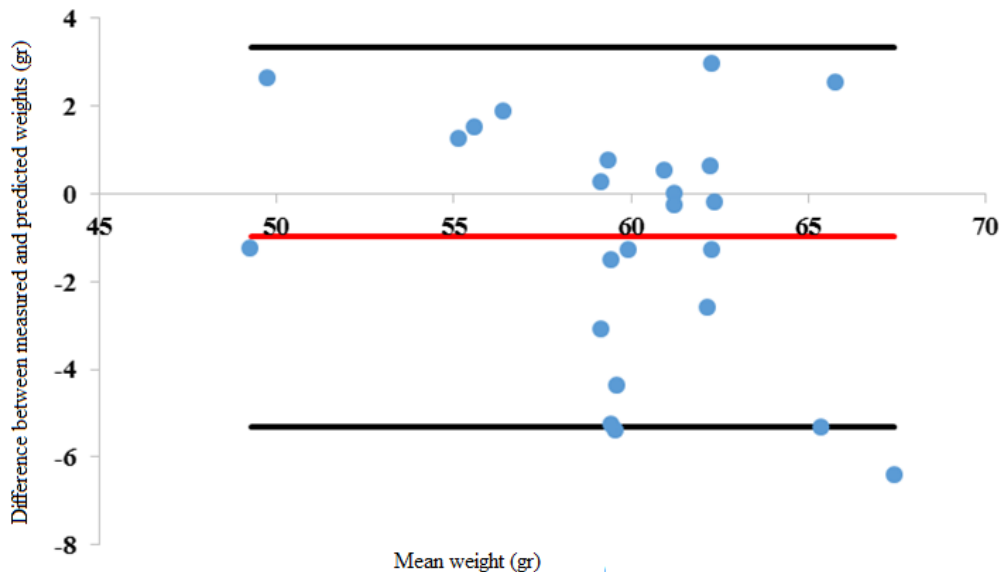
به منظور ارزیابی دستگاه و سنجش میزان دقت آن، وزن ۲۴ نمونه تخم‌مرغ تازه به کمک دستگاه توزین پیش‌بینی شده و با مقادیر واقعی که به وسیله یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم به دست آمده بود، مقایسه گردید.

از آزمون t جفتی برای مقایسه وزن پیش‌بینی شده با مقادیر



شکل ۴- خط برازش وزن واقعی و وزن پیش‌بینی شده براساس خواص دی‌الکتریک

Fig.4. The fitted line between measured and predicted weights



شکل ۵- نمودار بلاند -آلتمن (Bland and Altman, 1999) برای مقایسه وزن پیش بینی شده با مقادیر اندازه گیری شده

Fig. 5. Bland-Altman graph (Bland and Altman, 1999) for comparison of measured and predicted weights

سینوسی استفاده شد. برای واسنجی دستگاه، شبکه‌های عصبی با معماری‌های مختلف دولایه و سه‌لایه توسعه داده شدند. در شبکه عصبی دولایه تعداد نرون لایه مخفی از ۲ تا ۱۰ تغییر داده شد. بهترین نتایج مربوط به شبکه دولایه با ۱۰ نرون بود. از بین شبکه سه‌لایه، شبکه با ۷ نرون با بیشترین مقادیر ضریب همبستگی و کمترین مقدار خطا مناسب‌ترین شبکه بود. این شبکه از شبکه دولایه با ۱۰ نرون کارآتر بود، بنابراین مناسب‌ترین شبکه بوده و برای کالیبراسیون دستگاه توزین انتخاب شد. برای ارزیابی دستگاه، وزن ۲۴ نمونه تخم مرغ تازه به کمک دستگاه تخمین زده شد و با مقادیر واقعی که به وسیله یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم به دست آمده بود، مقایسه شد که حداکثر خطا ۵/۴ گرم به دست آمد.

براساس نتایج تحقیق، ۹۵٪ محدوده تطابق برای مقایسه دو روش توزین واقعی و تخمینی بین ۵/۳- و ۳۶/۳ گرم بود، یعنی روش دی‌الکتریک ممکن است وزن تخم مرغ را تا ۵/۳ گرم کمتر از مقدار واقعی یا ۳۶/۳ گرم بیشتر از مقدار واقعی پیش‌بینی کند (شکل ۵). در شکل فوق خطوط بیرونی ۹۵٪ محدوده تطابق و خط میانی میانگین اختلاف را نشان می‌دهد و همانطور که مشاهده می‌شود نتایج حاصل از دستگاه طراحی شده قابل قبول می‌باشد.

نتیجه گیری

در این پژوهش یک نمونه دستگاه توزین تخم مرغ به کمک حسگر خازنی ساخته شده و ارزیابی گردید. در طراحی و ساخت دستگاه از یک سیستم تولید فرکانس متغیر برای ایجاد سیگنال‌های

منابع

1. Aboonajmi, M., A. Akram, T. Nishizu, N. Kondo, S. K. Setarehdan, and A. Rajabipour. 2010. An ultrasound based technique for the determination of poultry egg quality. *Research in Agricultural Engineering* 56 (1): 26-32.
2. Asadi, V., M. H. Raoufat, and S. M. Nassiri. 2012. Fresh egg mass estimation using machine vision technique. *International Agrophysics* 26: 229-234.
3. Bland, J. M., and D. G. Altman. 1999. Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research* 8: 135-160.
4. Garcia-Alegre, M. C., A. Ribeiro, D. Guinea, and G. Cristobal. 1998. Eggshell defects detection based on color processing. *International Workshop on Robotics and Automated Machinery for Bio-Productions*: 51-66.
5. Kuchida, K., M. Fukaya, S. Miyoshi, M. Suzuki, and S. Tsuruta. 1999. Nondestructive prediction method

-
- for yolk: albumin ratio in chicken eggs by computer image analysis. *Poultry Science* 78: 909-913.
6. Lawrence, K. C., S. C. Yoon, D. R. Jones, G. W. Heitschmidt, B. Park, and W. R. Windham. 2009. Modified pressure system for imaging egg cracks. *Transactions of the ASABE* 52 (3): 983-990.
 7. Mertens, K., B. De Ketelaere, B. Kamers, F. R. Bamelis, B. J. Kemps, E. M. Verhoelst, J. G. De Baerdemaeker, and E. M. Decuypere. 2005. Dirt detection on brown eggs by means of color computer vision. *Poultry Science* 84: 1653-1659.
 8. Narushin, V. G., M. N. Romanov, and V. P. Bogatry. 2002. Relationship between preincubation egg parameters and chick weight after hatching in layer breeds. *Biosystems Engineering* 83 (3): 73-381.
 9. Patel, V. C., R. W. McClendon, and J. W. Goodrum. 1998. Development and evaluation of an expert system for egg sorting. *Computer and Electronics in Agriculture* 20: 97-116.
 10. Ragni, L., C. Cevoli, and A. Berardinelli. 2010. A waveguide technique for non-destructive determination of egg quality parameters. *Journal of Food Engineering* 100: 343-348.
 11. Wang, T. Y., and S. K. Nguang. 2007. Low cost sensor for volume and surface area computation of axisymmetric agricultural products. *Journal of Food Engineering* 79: 870-877.

The design, fabrication and evaluation of egg weighing device using capacitive sensor and neural networks

S. Khalili¹ - B. Mohammadi-Alasti^{2*} - M. Abbasgholipour³

Received: 22-11-2013

Accepted: 25-01-2014

Introduction: Grading agricultural products always has a particular important position for submission to domestic and overseas markets. The grading causes more profitable product ranges and customer satisfaction. Grading treatment is carried out based on various parameters such as color, ripeness level, dimensions and weight. Product weight is one of the most effective parameters in grading operation. Egg weight is directly related to the smallness and coarseness of eggs. In egg grading, the largeness value is very important in marketing. This research aimed to design, fabricate and evaluate the egg weighing system based on its dielectric properties.

Materials and Methods: To perform this research, the stages of work are divided into several sections including, design and construction of the hardware section, writing code for the software section to collect data, conducting nondestructive tests and data collection, analysis of obtained data using artificial intelligence, and giving the results of analysis for device calibration of the system as the software code. The large eggs as dielectric substances cause more increase in the capacity of the capacitive sensor. Furthermore, by derivation of a relation between capacity of capacitive sensor and egg weight, one can predict the weight of the sample. A prototype unit of weighing system was designed and fabricated. The designed unit was composed of a chassis, a voltage source, a sinusoidal signal generator, a voltage measurement unit, an AVR micro controller, a COM port, a capacitive sensor, and an LCD and a keyboard. Neural network technique was used for egg weight prediction. The designed net receives 16 voltage values at different frequencies as inputs and its output is the egg weight. In order to calibrate and evaluate the weighing unit, 150 fresh egg samples were provided on egg laying day from a local poultry farm. Experiments were divided into three groups. The experiments were carried out on egg-laying day, and the second and fourth day after laying.

Results and Discussion: In this study, two networks were built and evaluated. In the first series, two-layer networks and in the second series, three-layer networks were developed. In the two-layer neural networks, the number of neurons in the hidden layer was changed from 2 to 10. According to the given results for two-layer networks, two layer networks with 10 neurons offer the best results (the highest R-value and minimum RMSE) and it can be chosen as the most effective two-layer network. Three-layer neural networks have been composed of two hidden layers. The number of neurons in the first hidden layer was 10 and in the second layer it was changed from 1 to 20. Between three-layer networks, the network with 7 neurons with the highest R-value and the lowest error is the most appropriate network. It is even more efficient than the two-layer network with 10 neurons. So, the most appropriate structure is 1-7-10-16 and it has been selected for calibration of the weighing device. To evaluate and assess the accuracy of the weighing machine, weights of 24 samples of fresh eggs were predicted and compared with the actual values obtained using a digital scale with the accuracy of 0.01 gr. The paired t-test has been used to compare the measured and predicted values and the Bland-Altman method has been used for charting the accordance between the measured and predicted values. Based on the findings, the difference between the measured and predicted values was observed up to 5.4 gr that is related to a very large sample. The mean absolute error is equal to 2.21 gr and the mean absolute percentage error is equal to 3.75 %. According to the findings, 95% of the actual and approximate matching range to compare the two weighing methods is between -5.3 gr and 3.36 gr. Thus, the dielectric technique may underestimate the egg weight up to 5.3 gr or it may overestimate it up to 3.36 gr more than the actual prediction.

Conclusions: The best results were obtained with a 3 layers net having 10 and 7 neurons, respectively in the first and the second hidden layers with the highest R-value, 0.983 and the lowest error, 0.502. Therefore, this net was applied for egg weight prediction. To evaluate the device, the weights of 24 fresh eggs were estimated using the device and were compared with actual values and the maximum error was observed to be equal to 5.4 gr.

Keywords: Capacitive sensor, Eggs, Neural network, Weighing device

1- MSc student, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Biosystem, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

2 & 3- Assistant professors, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Biosystem, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

(*- Corresponding Author Email: Behzad.alasti@gmail.com)