



Estimation of egg shelf life in different storage conditions using artificial neural network

Fatemeh Koulivand¹, Iman Shahabi-Ghahfarrokhi^{2,3✉}, Rahmatollah Pourata⁴, Ali-Reza Moradi^{5,6}

¹MSc Student, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

²Associate Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³Associate Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

⁴Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

⁵Assistant Professor, Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran

⁶Resident Researcher, School of Quantum Physics and Matter, Institute for Research in Fundamental Sciences (IPM), Tehran, Iran

✉ Corresponding author: i.shahabi@znu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 2024-11-16

Accepted: 2025-07-30

Published: 2025-09-03

Keywords:

Prediction, Egg, Artificial neural network, Shelf life

ABSTRACT

Background: Egg is a high-quality, affordable source of animal protein, but their shelf life varies under different storage conditions. While Iran's standards recommend refrigerated storage for up to 30 days, most eggs are stored at room temperature during distribution, necessitating an evaluation of shelf life under both conditions. Traditional egg quality tests are destructive and time-consuming, making artificial neural network (ANN) modeling a valuable tool for rapid and cost-effective shelf-life prediction.

Aims: This study aimed to determine the shelf life of eggs stored at room temperature and in the refrigerator by evaluating quality parameters and developing an ANN model to predict egg quality under different conditions.

Methods: A total of 160 fresh eggs were divided into two groups: one stored at room temperature ($22.5 \pm 2.5^\circ\text{C}$, 27–32% humidity) and the other refrigerated ($6.5 \pm 2.5^\circ\text{C}$, 55–85% humidity). Over eight weeks, eggs were sampled weekly (10 replicates) to assess weight loss, Haugh unit, yolk index, and air cell depth. Visual traits (shape index, pore count, pore area) were analyzed using ImageJ. An ANN model with five input neurons (temperature, storage time, shape index, pore count, pore area) and four output neurons (quality parameters) was trained using 1440 data points.

Results: Eggs stored at room temperature degraded faster, entering lower quality ranges (A after one week, B after two weeks) based on Haugh unit and air cell depth, while refrigerated eggs maintained AA quality for 56 days. The optimal ANN model (linear tangent transfer function, Levenberg-Marquardt algorithm) achieved high correlation coefficients (0.88–0.96) for predicting quality parameters. Temperature and storage time had the greatest impact on quality.

Conclusion: Eggs stored at room temperature retain acceptable quality for only one week, whereas refrigeration preserves quality for over a month. ANN modeling effectively predicts egg quality, offering a practical tool for shelf-life assessment.



Extended Abstract

Introduction: Eggs have always been considered as high-quality and affordable sources of animal protein. Determining the shelf life of eggs under different storage conditions is crucial not only for consumer health but also for the quality of food products made with eggs. While the guidelines from the country's veterinary organization and the national standard of Iran set the refrigerator shelf life for eggs at approximately 30 days, most eggs in the country are stored outside the refrigerator during distribution. Therefore, it is necessary to evaluate the shelf life of eggs both inside and outside the refrigerator, identify the factors influencing it, and assess their extent of impact. Additionally, many egg evaluation tests are destructive and time-consuming, requiring significant resources. Hence, modeling techniques can play a significant role in reducing costs and expediting the determination of egg shelf life under various conditions. This research aims to determine the shelf life of eggs in different temperature conditions by employing artificial neural network modeling based on the experimental evaluation of eggs stored at room temperature and in the refrigerator.

Materials and methods: In this study, 160 healthy and fresh eggs were collected from a laying hen farm. The eggs' visual characteristics, including shape index, number of shell pores, and their respective areas, were assessed by illuminating the eggs from behind and capturing images at an angle of approximately 180 degrees relative to the light source. The obtained images were analyzed using ImageJ software to calculate these features. Subsequently, the eggs were randomly divided into two groups of 80. The first group was stored at room temperature (22.5 ± 2.5 degrees Celsius) and a humidity range of 27 to 32%, while the second group was stored in the refrigerator (6.5 ± 2.5 degrees Celsius) and a humidity range of 55 to 85%. Over an 8-week period, eggs were randomly sampled at 7-day intervals with 10 repetitions. The eggs' quality characteristics were then examined based on qualitative parameters such

as weight loss, Haugh unit, yolk index, and air sac depth. Artificial neural network modeling was subsequently employed using the experimental results to predict egg quality. A multi-layer perceptron neural network was developed, consisting of an input layer with five neurons (temperature, storage time, shape index, number of pores, and pore area) and an output layer with four neurons (Haugh unit, yolk index, weight loss, and air sac depth). A total of 1440 data points were utilized for training the artificial neural network, with 60% for training, 25% for evaluation, and 15% for validation. The artificial neural network was trained using four transfer functions (tangent, sigmoid, linear axon tangent, and linear sigmoid) and two learning algorithms (Levenberg-Marquardt and Momentum). The network with the lowest mean squared error was selected as the optimal network through trial and error. Lastly, a sensitivity test was conducted to measure the influence of each input on the artificial neural network's output predictions.

Results and discussion: The research findings indicated that the visual characteristics of eggs in the two groups (room temperature and refrigerator temperature) did not significantly differ. However, the qualitative parameters of eggs stored at room temperature and refrigerator temperature exhibited significant differences throughout the storage period. Both temperature conditions showed similar trends in parameter changes, but the rate of change was higher for eggs stored at room temperature. Eggs stored in the refrigerator for 56 days remained within the AA quality range based on the Haugh unit. In contrast, eggs stored at room temperature entered the A quality range after one week of storage and the B range after two weeks. Regarding air sac depth, eggs stored at room temperature entered the B quality range after one week, while eggs stored in the refrigerator entered the B quality range after three weeks. The optimal artificial neural network consisted of a linear tangent transfer function and the Levenberg-Marquardt algorithm in the input layer, and a linear tangent transfer function and the

Momentum algorithm in the output layer, with a single hidden layer containing four nodes. Under this configuration, the artificial neural network achieved a correlation coefficient of 0.96 for weight loss, 0.94 for yolk index, 0.93 for air sac depth, and 0.88 for the Haugh unit, enabling the prediction of these quality parameters. Temperature and storage duration exerted the greatest influence on the quality parameters, with the Haugh unit being strongly affected by storage temperature.

Conclusion: The research results indicate that eggs stored at room temperature can maintain the desired quality for a maximum of one week, while eggs stored in the refrigerator can easily preserve the desired quality for up to a month. Moreover, the use of artificial neural network modeling can effectively predict the quality characteristics of eggs under different storage conditions.

تخمین ماندگاری تخم مرغ در شرایط نگهداری مختلف با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

فاطمه کولیوند^۱، ایمان شهابی قهفرخی^{۲،۳}، رحمت اله پورعطا^۴، علیرضا مرادی^{۵،۶}

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

^۲دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

^۳دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

^۴استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

^۵استادیار گروه فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان

^۶پژوهشگر مقیم، پژوهشکده فیزیک کوانتومی و ماده، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران

✉ مسؤل مکاتبه: i.shahabi@znu.ac.ir

چکیده

مشخصات مقاله

زمینه مطالعاتی: تخم مرغ منبع پروتئینی باکیفیت و مقرون به صرفه است، اما ماندگاری آن تحت شرایط نگهداری متفاوت است. براساس استاندارد ملی ایران نگهداری در یخچال تا ۳۰ روز توصیه شده است، اما در فرآیند توزیع، تخم مرغ‌ها اغلب در دمای محیط نگهداری می‌شوند. ارزیابی کیفیت تخم مرغ به روش‌های مرسوم زمان‌بر و تخریبی است؛ بنابراین، استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی سریع ماندگاری ضروری است.

هدف: این مطالعه به تعیین ماندگاری تخم مرغ در دو شرایط دمای محیط و یخچال و توسعه مدل ANN برای پیش‌بینی کیفیت آن پرداخت.

روش کار: ۱۶۰ تخم مرغ تازه در دو گروه دمایی محیط (۲۲/۵±۲/۵) درجه سانتیگراد، رطوبت ۲۷-۳۲ درصد) و یخچال (۶/۵±۲/۵) درجه سانتیگراد، رطوبت ۵۵-۸۵ درصد) به مدت ۸ هفته نگهداری شدند. پارامترهای کیفی (کاهش وزن، واحد هاو، شاخص زرده، عمق کیسه هوایی) و ویژگی‌های ظاهری (شاخص شکل، تعداد و مساحت منافذ) به صورت هفتگی اندازه‌گیری شدند. یک مدل ANN با پنج نورون ورودی (دما، زمان نگهداری، شاخص شکل، تعداد منافذ، مساحت منافذ) و چهار نورون خروجی (پارامترهای کیفی) با استفاده از ۱۴۴۰ داده آموزش داده شد.

نتایج: تخم مرغ‌های نگهداری شده در دمای محیط پس از ۱ هفته به رده کیفیت A و پس از ۲ هفته به رده B تنزل یافتند، در حالی که تخم مرغ‌های یخچالی تا ۵۶ روز در رده AA باقی ماندند. مدل بهینه ANN با تابع انتقال تانژانت خطی و الگوریتم لوبز-مارکوارت، ضریب همبستگی بالایی (۰/۸۸ تا ۰/۹۶) در پیش‌بینی پارامترهای کیفی نشان داد. دما و زمان نگهداری بیشترین تأثیر را بر کیفیت تخم مرغ داشتند. **نتیجه‌گیری:** نگهداری تخم مرغ در یخچال تا ۸ هفته کیفیت مطلوب را حفظ می‌کند، اما در دمای محیط، کیفیت پس از ۱ هفته کاهش می‌یابد. مدل ANN ابزاری کارآمد برای پیش‌بینی ماندگاری تخم مرغ است.

نوع مقاله:

علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۳/۸/۲۶

پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۸

انتشار: ۱۴۰۴/۶/۱۲

کلید واژه:

پیش بینی، تخم مرغ، شبکه عصبی مصنوعی، ماندگاری

مقدمه

تخم‌مرغ یکی از معدود غذاهایی است که به طور گسترده در سراسر جهان مصرف می‌شود، بنابراین بخش مهمی از صنایع غذایی جهان را تشکیل می‌دهد (توریکو ۲۰۱۰). تخم‌مرغ دارای چهار دسته از مواد مغذی عمده شامل پروتئین، چربی، مواد معدنی و ویتامین‌ها است (ناروشین و همکاران ۲۰۰۲؛ نعمتین و مهدی زاده ۲۰۱۸)، ارزش بیولوژیکی سایر منابع پروتئینی مانند لبنیات، گوشت و لوبیا با پروتئین تخم‌مرغ مقایسه می‌شود (نعمتین و مهدی زاده ۲۰۱۸). براساس آخرین آمار مرکز آمار ایران میزان تولید تخم‌مرغ خوراکی در ایران در سال ۱۳۹۸ برابر ۸۶۹۴۲۱ تن بوده است (ایران ۲۰۲۰). این در حالی است که براساس آمار FAO در سال ۲۰۲۱ حدود ۸۶/۴ میلیون تن تخم‌مرغ در سراسر دنیا تولید شده است و حدود ۲ میلیون تن از این تخم‌مرغ به سایر کشورها صادر شده است. بزرگترین صادر کننده‌های تخم‌مرغ دنیا به ترتیب هلند، ترکیه و آمریکا بوده اند و متأسفانه با وجود آنکه تمام کشورهای حاشیه خلیج فارس وارد کننده‌های عمده تخم‌مرغ هستند ولی ایران نه تنها سهمی در این بازار نداشته است بلکه در سال ۲۰۲۱ حدود ۱۲۵۰۰ تن تخم‌مرغ وارد کرده است (نیشن ۲۰۲۳).

تخم‌مرغ از سه قسمت اصلی پوسته، سفیده و زرده، تشکیل شده است (توریکو ۲۰۱۰). پوسته‌ی تخم‌مرغ از یک لایه‌ی نازک کوتیکولی، یک لایه کربنات کلسیم و دو غشای پوسته (غشای داخلی و خارجی) که هر دو غشا در بخش داخلی پوسته قرار گرفته و تا حدی از تبادل رطوبت داخل تخم‌مرغ با محیط خارج جلوگیری می‌کنند تشکیل شده است. علاوه بر این، پوسته‌ی تخم‌مرغ حاوی تعداد زیادی منافذ (بیش از ۷۵۰۰ در هر تخم‌مرغ) است که وجود این روزنه‌های فراوان در پوسته تخم‌مرغ سبب شده تا در طی دوره نگهداری، بخشی از رطوبت و دی‌اکسیدکربن موجود در تخم‌مرغ به محیط پیرامونی انتقال یابد (ماین و همکاران ۲۰۲۳). کوتیکول جزء گروه موم‌ها دسته بندی می‌شود و با پوشش سطح خارجی تخم‌مرغ تا حدودی منافذ موجود در پوسته را مسدود می‌سازد به این ترتیب از خروج رطوبت و گازهای داخل تخم‌مرغ جلوگیری می‌کند و تا حدودی از تخم‌مرغ در برابر از دست دادن رطوبت و

میکروارگانیسم‌ها محافظت می‌کند (توریکو ۲۰۱۰؛ وجدانی و تورس ۱۹۹۰).

سفیده تخم‌مرغ از چهار لایه‌ی سفیده غلیظ داخلی، سفیده رقیق داخلی (مایع داخلی)، سفیده غلیظ بیرونی (متراکم) و لایه‌ی بیرونی رقیق (مایع بیرونی) تشکیل شده است و بخش اعظم تخم‌مرغ را سفیده آن تشکیل می‌دهد. زرده، توسط رشته طنابی شکل به نام شالاز که از دو طرف به سفیده متصل شده است در وسط تخم‌مرغ نگهداشته می‌شود. زرده‌ی تخم‌مرغ با یک غشاء به نام ویتلین محصور شده است (توریکو ۲۰۱۰).

یکی دیگر از اجزا تخم‌مرغ کیسه هوا نام دارد. کیسه هوا محفظه‌ی پر از هوایی است که در ته تخم‌مرغ (سر پهن تخم-مرغ) قرار دارد و وظیفه رساندن اکسیژن به جوجه در داخل تخم‌مرغ را بر عهده دارد، در هنگام تخم‌گذاری غشای داخلی و غشای خارجی تخم‌مرغ روی هم می‌چسبد و بلافاصله پس از تخم‌گذاری به علت بروز تغییرات فیزیکی و شیمیایی، رطوبت و دی‌اکسیدکربن موجود در تخم‌مرغ از منافذ موجود در پوسته خارج می‌شود که در نتیجه‌ی این امر تخم‌مرغ افت وزنی پیدا می‌کند و غشای داخلی تخم‌مرغ از غشای خارجی جدا می‌شود در نتیجه کیسه هوایی فضای بیشتری را اشغال خواهد کرد و با گذر زمان با خروج رطوبت و دی‌اکسید کربن و جایگزین شدن آن با اکسیژن حجم کیسه هوا بزرگتر می‌شود (ماین و همکاران ۲۰۲۳).

مطابق تعریف ارائه شده توسط کمیسیون اروپا، ماندگاری یک ماده غذایی مدت زمانی است که ماده غذایی در صورت نگهداری مناسب، خواص خاص خود را حفظ کند که این مدت برای تخم‌مرغ حداکثر ۲۸ روز پس از تخم‌گذاری تعیین شده است (کومیسیون ۲۰۰۸). بر همین اساس نیز سازمان دامپزشکی کشور مدت زمان ماندگاری تخم‌مرغ را به مدت ۳۰ روز در دمای صفر تا ۴ درجه سانتی گراد و رطوبت ۸۵٪ برای مصرف خانوار و به مدت ۳ ماه در دمای ۰/۶- تا ۲ درجه سانتی گراد برای مصارف عمده (صنعتی) تعیین کرده است (شیوه نامه سازمان دامپزشکی ایران ۲۰۱۹). ولی در عمل این شرایط نگهداری در کشور رعایت نمی‌شود و به ندرت تخم‌مرغ در

بازار عمده فروشی و خرده فروشی در چنین شرایطی نگهداری می‌شود.

کیفیت تخم مرغ، یکی از عوامل تاثیرگذار در میزان جوجه آوری، رشد جوجه‌ها و میزان بازارپسندی است که عوامل محیطی و ژنتیکی می‌توانند بر آن تاثیر بگذارند (رنجبر و همکاران ۲۰۱۵). رشد میکروارگانیسم‌های بیماریزا و یا عوامل فساد در حد غیر مجاز می‌تواند بر عمر ماندگاری تخم مرغ تاثیر بگذارد. علاوه بر این عمر ماندگاری تحت تاثیر شرایط محیطی نگهداری مثل دما، رطوبت، نوع بسته بندی و روش‌های فرآوری و سالم سازی قرار می‌گیرد (ایران ۱۳۸۹). کیفیت تخم مرغ جنبه‌های مختلفی را در بر می‌گیرد که مربوط به پوسته، سفیده و زرده است و به کیفیت خارجی و داخلی تقسیم می‌شود (توریکو ۲۰۱۰).

کیفیت خارجی (ظاهر تخم مرغ)، برای جذب مصرف‌کننده مهم است. پوسته، اولین نقطه برای ارزیابی کیفیت خارجی تخم مرغ است. پوسته‌ی تخم مرغ بر اساس رنگ، تمیزی، شکل، بافت، تخلخل و ظاهر سالم، ارزیابی می‌شود (توریکو ۲۰۱۰). از نظر تجاری، ارزیابی تخم مرغ‌ها از نظر کیفیت ظاهری، تعداد تخم - مرغ‌های دارای نقص را که به دست مصرف‌کننده می‌رسد کاهش می‌دهد. این نقایص می‌تواند کیفیت ظاهر تخم مرغ‌ها و یا احتمال سالم ماندن تخم مرغ‌ها طی حمل و نقل در بازار را کاهش دهد. صنعت تخم مرغ تجاری می‌خواهد تخم مرغ‌هایی که به دست مصرف‌کننده می‌رسند تمیز، نشکن و با شکل و بافت عملاً معمولی باشند (پسکاتور و جاکوب ۲۰۱۱).

کیفیت داخلی، بر اساس کیفیت سفیده، کیفیت زرده، اندازه کیسه‌ی هوا و وجود لکه‌ی خون یا گوشت ارزیابی می‌شود. سفیده یک شاخص اصلی کیفیت داخلی تخم مرغ است. (سایار و همکاران ۲۰۰۷). کیفیت سفیده را می‌توان به عنوان شاخص امنیت غذایی در نظر گرفت. به عنوان مثال، کیفیت پایین تخم مرغ تازه (سفیده آبکی) می‌تواند نشانه‌ای از تهاجم باکتری باشد (سرگلی و همکاران ۲۰۰۶). عوامل متعددی از جمله سن و نژاد مرغ، طول دوره تخم‌گذاری و شرایط ذخیره‌سازی بر کیفیت سفیده اثر دارند. ولی در این میان، مدت و شرایط

ذخیره‌سازی بیشترین تاثیر را بر این عامل دارند (سایار و همکاران ۲۰۰۷). رقیق شدن سفیده نشانه‌ی افت کیفیت است. وجود گاز دی اکسید کربن در سفیده تخم مرغ سبب شده است که محتویات داخلی آن، به عنوان یک محلول اسیدکربنیک ضعیف ایفای نقش نماید و مانع افزایش pH شود. با خروج این گاز، پیوندهای بین لیزوزیم و اووموسین در سفیده نیز گسسته شده و منجر به بروز تغییراتی در کیفیت تخم مرغ از جمله کاهش وزن، کاهش ویسکوزیته و افزایش pH سفیده می‌گردد (رنجبر و همکاران ۲۰۱۵؛ واردی و همکاران ۲۰۱۰). در سفیده و زرده تخم مرغ به طور طبیعی مقداری آب و گاز دی اکسید کربن موجود است که موجب حفظ تازگی و کیفیت تخم مرغ می‌شوند (واردی و همکاران ۲۰۱۳).

یکی از راهکارهای مفید جهت جلوگیری از بروز این تغییرات، ممانعت از خروج رطوبت و گازهای داخلی تخم مرغ است. با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله نگهداری تخم مرغ در دمای یخچال، استفاده از بسته‌بندی در اتمسفر تغییر یافته، عدم شست‌وشوی تخم مرغ قبل از دوره نگهداری و پوشش دهی می‌توان ماندگاری این ماده غذایی را تا حدودی افزایش داد (جهانگیر اصفهانی ۲۰۲۱). کیفیت زرده نیز به ظاهر، بافت، سفتی و بوی آن مربوط می‌شود. هنگامی که یک تخم مرغ تازه با دقت روی یک سطح صاف شکسته می‌شود، زرده‌ی گرد در موقعیت مرکزی قرار گرفته و توسط سفیده غلیظ احاطه شده است. وقتی تخم مرغ کهنه شکسته می‌شود، زرده‌ای با ارتفاع کم و پهن مشاهده می‌شود و اغلب به یک طرف جا به جا می‌شود (سوکتاناراک و تیراچیچایوت ۲۰۱۷). افزایش سن مرغ همراه با افزایش زمان و دما نگهداری موجب کاهش کیفیت تخم مرغ می‌شود و اثر متقابل معنی‌داری بین کیفیت تخم مرغ، زمان و دمای نگهداری و همچنین سن مرغ‌های تخم‌گذار وجود دارد (آکیورک و اوکور ۲۰۰۹).

به طور کلی روش‌های ارزیابی کیفیت و به تبع از آن ارزیابی ماندگاری تخم مرغ مبتنی بر روش‌های تخریبی و بسیار وقت‌گیر هستند. از این رو به دلیل از دست رفتن محصول معمولاً از آن‌ها به منظور ارزیابی نمونه‌های کوچک تخم مرغ استفاده می‌شود. از این رو، روش‌های ارزیابی کیفی غیرمخرب تخم مرغ

می‌تواند در درجه‌بندی تخم‌مرغ، افزایش ایمنی و تضمین کیفیت مصرف‌کنندگان مفید باشند (دی کتلازه و همکاران ۲۰۰۴).

شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزارهای محاسباتی نسبتاً جدیدی هستند که در حل بسیاری از مشکلات پیچیده، کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده‌اند. این ابزار با الهام از سیستم عصبی بیولوژیکی، عمل پردازش اطلاعات را انجام می‌دهد و در واقع از راه یادگیری اقدام به حل مساله می‌کنند و در واقع یکی از کاربردهای آن پیش بینی پدیده‌ها است (منهاج ۲۰۱۷).

یک شبکه عصبی مصنوعی شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه مخفی، و یک لایه خروجی است. شبکه عصبی مصنوعی از تعدادی نورون تشکیل شده است که با آرایش‌های خاص در کنار یکدیگر قرار دارند. اکثر الگوریتم‌ها و معماری‌های شبکه عصبی مصنوعی می‌توانند با تغییر تعداد و نوع نورون‌های مدل، ارتباط بین نورون‌ها و اعمال وزن بین نورون‌ها در عملکرد شبکه عصبی مصنوعی تغییر ایجاد کنند (منهاج ۲۰۱۷).

تاکنون انواع مختلفی از شبکه‌های عصبی مصنوعی توسعه یافته‌اند که یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین آنها، پرسپترون چند لایه است که معمولاً برای اهداف طبقه‌بندی و تقریب تابع استفاده می‌شود (سلطانی و همکاران ۲۰۱۵؛ پکل و کارا ۲۰۱۷). غضنفری و همکاران (۲۰۱۱)، به پیش بینی تولید تخم‌مرغ با توجه به سن گله و با استفاده از همین نوع از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند (غضنفری و همکاران ۲۰۱۱).

با توجه به اهمیت تخم‌مرغ در حفظ امنیت غذایی کشور و از آنجایی که در کشور شرایط نگهداری استاندارد در طی زنجیره تأمین تخم‌مرغ رعایت نمی‌شود، هدف از پژوهش حاضر استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به منظور پیش بینی ماندگاری و تاثیر شرایط محیطی و ویژگی‌های ظاهری تخم‌مرغ بر ماندگاری آن است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه ۱۶۰ نمونه تخم‌مرغ سالم و همگی در بازه‌ی وزنی ۶۰ تا ۶۵ گرم و از جیره غذایی یک نوبت مشخص در شبانه روز و دوره تخم‌گذاری میان دوره از مرغداری والفجر

سامن جمع‌آوری و برای تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه منتقل شدند. تخم‌های جمع‌آوری‌شده به‌طور تصادفی به دو گروه ۸۰ تایی تقسیم شدند، گروه اول در دمای اتاق ($22/5 \pm 2/5$) درجه سلسیوس و در محدوده رطوبت ۲۷ تا ۳۲ درصد و گروه دوم، در دمای یخچال ($6/5 \pm 2/5$) درجه سلسیوس و در محدوده رطوبت ۵۵ تا ۸۵ درصد نگهداری شدند. تخم‌مرغ‌ها در طی ۸ هفته به صورت کاملاً تصادفی، در بازه‌های زمانی ۷ روزه (هفته اول، دوم، سوم، چهارم، پنجم، ششم، هفتم و هشتم) و با ۱۰ تکرار نمونه برداری شدند و از لحاظ فراسنجه‌های کیفی مورد بررسی قرار گرفتند.

ارزیابی ویژگی‌های ظاهری تخم‌مرغ

تمامی آزمون‌های مورد استفاده در تعیین ویژگی‌های ظاهری تخم‌مرغ‌ها در روز صفر و پیش از اعمال تیمارهای دمایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص شکل (SI) یکی از ویژگی‌های ظاهری تخم‌مرغ است، در طبقه بندی تخم‌مرغ‌ها با توجه به شاخص شکل، تخم‌مرغ‌های دارای $SI < 0/72$ به عنوان تخم‌مرغ تیز، تخم‌مرغ‌های دارای $SI < 0/76$ به عنوان تخم‌مرغ معمولی (استاندارد) و تخم‌مرغ‌های دارای $SI > 0/76$ به عنوان تخم‌مرغ گرد طبقه‌بندی شدند (دومان و همکاران ۲۰۱۶). همانطور که در معادله ۱ مشاهده می‌شود شاخص شکل از تقسیم عرض تخم‌مرغ به طول آن به دست می‌آید. این شاخص یک عدد بدون واحد است.

$$SI = \frac{W}{L} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در این معادله W عرض تخم‌مرغ و L طول تخم‌مرغ برحسب میلی‌متر می باشند (دومان و همکاران ۲۰۱۶).

تعداد و مساحت منافذ پوسته تخم‌مرغ

منافذ موجود روی پوسته تخم‌مرغ به عنوان یکی از ویژگی‌های ظاهری تخم‌مرغ مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور در روز صفر و پیش از ذخیره سازی تخم‌مرغ‌ها، با اعمال نور از پشت تخم‌مرغ، تصویر برداری از زاویه حدود ۱۸۰ درجه نسبت به نور انجام شد. با توجه به عدم یکنواختی پوست تخم‌مرغ، این کار به صورت تصادفی در سه تکرار و در گرداگرد هر تخم‌مرغ با بزرگنمایی ۲/۵ برابر انجام شد. سپس با استفاده از نرم افزار

شاخص در بازه ۲۰ تا ۱۰۰ است. به طور کلی شاخص‌هاو بین عدد ۲۰ برای آلبومین با کیفیت نامناسب و ۱۰۰ برای آلبومین با کیفیت عالی متغیر است و هرچه شاخص‌هاو بالاتر باشد نشانگر کیفیت بهتر آلبومین است (کانر و کانسیز ۲۰۰۷؛ سوپاکول و همکاران ۲۰۱۰؛ آل هاجو و همکاران ۲۰۱۲).

$$HU = 100 \log (H - 1.7W^{0.37} + 7.6) \quad (۳)$$

در این معادله W معرف وزن هر تخم‌مرغ برحسب گرم و H نیز معرف ارتفاع آلبومین برحسب میلی‌متر می‌باشد.

درجه‌بندی تخم‌مرغ

به طور معمول یکی از ملاک‌های درجه‌بندی تخم‌مرغ بر اساس میزان شاخص‌هاو است. تخم‌مرغ‌های با شاخص‌هاو بالاتر از ۷۲ در درجه AA، تخم‌مرغ‌های با شاخص‌هاو بین ۶۰-۷۱ در درجه A، تخم‌مرغ‌های با شاخص‌هاو بین ۵۹-۳۱ در درجه B، و تخم‌مرغ‌های با شاخص‌هاو کمتر از ۳۰ در درجه C طبقه‌بندی می‌شوند (کانر ۲۰۰۵).

شاخص زرده

شکل کروی زرده تخم‌مرغ در قالب شاخص زرده (YI) بیان می‌شود. برای تعیین این شاخص، ارتفاع مرتفع‌ترین قسمت زرده و قطر زرده توسط یک کولیس اندازه‌گیری شد. آنگاه با استفاده از معادله ۴ مقدار شاخص زرده محاسبه شد. هر چه این شاخص به ۰/۴۵ نزدیک‌تر باشد بیانگر کیفیت بالای زرده است و کاهش مقدار آن بیانگر افت کیفیت زرده تخم‌مرغ است (کانر و کانسیز ۲۰۰۷).

$$YI = \frac{H}{W} \quad (۴)$$

که در این معادله H ارتفاع زرده بر حسب میلی‌متر و W بیانگر قطر زرده بر حسب میلی‌متر است.

عمق کیسه هوا

جهت اندازه‌گیری کیسه هوای تخم‌مرغ از اتاقت تاریک با تابش نور از پهلو و با استفاده از یک شابلن نیم دایره‌ای با ابعاد استاندارد بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

پردازش تصویر ImageJ تصاویر از حالت رنگی (RGB) به تصاویر سیاه و سفید تبدیل شدند. آنگاه یک قطعه ۱۵۰۰×۱۵۰۰ پیکسل با مختصات یکسان از بخش وسط هر تخم‌مرغ جدا شد و با استفاده از نرم افزار تعداد و مساحت منافذ مشاهده شده در تصاویر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه مساحت منافذ موجود در هر تخم‌مرغ، مجموع مساحت تک تک منافذ ثبت شده در هر سه قطعه مربع شکل با ابعاد ۱۵۰۰×۱۵۰۰ پیکسل مربع به عنوان مساحت منافذ در هر تخم‌مرغ در نظر گرفته شد.

ویژگی‌های کیفی تخم‌مرغ

درصد افت وزن

یکی از ساده‌ترین آزمون‌های مورد استفاده جهت تشخیص میزان رطوبت خارج شده از تخم‌مرغ درصد افت وزن آن است. برای انجام این آزمون از اختلاف وزن تخم‌مرغ‌ها در هفته‌های مختلف نسبت به وزن اولیه، درصد افت وزن محاسبه شد (کانر ۲۰۰۵). تخم‌مرغ‌ها در روز صفر بلافاصله توسط یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند و وزن آن‌ها به عنوان وزن اولیه ثبت شد (وزن روز صفر). سپس در بازه‌های زمانی مشخص (هفته اول تا هفته هشتم) توزین نمونه‌های مورد آزمایش انجام شد و به عنوان وزن ثانویه ثبت شد. آنگاه با استفاده از معادله ۲ افت وزنی نمونه‌ها برحسب درصد تعیین گردید.

$$WL = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \quad (۲)$$

که در این معادله w_1 برابر وزن اولیه تخم‌مرغ در روز صفر و w_2 وزن تخم‌مرغ در هفته موردنظر است.

شاخص‌هاو^۱

این آزمون جهت تعیین کیفیت و تازگی تخم‌مرغ طراحی شده است. هرچه قدر تخم‌مرغ تازه‌تر باشد سفیده آن غلیظ‌تر و ارتفاع آن بر روی سطح صاف بیشتر خواهد بود. برای انجام آزمون، تخم‌مرغ شکسته و به آرامی روی صفحه کاملاً صاف شیشه‌ای ریخته و با استفاده از کولیس، ارتفاع ضخیم‌ترین قسمت آلبومین اندازه‌گیری شد (شهرام ۲۰۱۲). بدین ترتیب با توجه به معادله ۳ شاخص‌هاو تعیین شد. بازه تعیین شده برای این

¹ Haugh unit

آنالیزهای آماری

تمامی آزمون‌ها با ده تکرار و به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش ANOVA در قالب طرح کاملاً تصادفی و به منظور مقایسه میانگین داده‌ها از روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد. برای آنالیز آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ و به منظور رسم نمودارها از Excel نسخه ۲۰۱۰ استفاده شد.

مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده در این پژوهش دارای یک لایه ورودی با پنج نورون شامل: دما، زمان نگهداری، شاخص شکل، تعداد منافذ و مساحت منافذ و یک لایه خروجی با چهار نورون شامل: شاخص‌ها، شاخص زرده، افت وزنی و عمق کیسه هوا است. به این ترتیب در مجموع ۱۴۴۰ داده در توسعه شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. این شبکه عصبی مصنوعی شامل یک و یا دو لایه پنهان می‌باشد که بهینه‌ی تعداد نورون و تعداد لایه پنهان آن با استفاده از آزمون و خطا مشخص گردید. در پژوهش حاضر نیز از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه پیشرو برای مدل‌سازی تمامی پارامترها استفاده شد. به این ترتیب در این شبکه، داده‌ها در یک جهت از لایه ورودی به سمت لایه خروجی جریان می‌یابد. در این مطالعه از نرم افزار Neurosolution 7 برای مدل‌سازی شبکه‌های عصبی استفاده شد. پس از مشخص کردن ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه عصبی مصنوعی در نرم افزار و تصادفی کردن آنها، در کل فرایند ۶۰٪ داده‌ها برای آموزش، ۲۵٪ داده‌ها برای ارزیابی و ۱۵٪ برای اعتبار سنجی مورد استفاده قرار گرفتند. تعداد لایه‌های مخفی تا دولایه و تعداد نورون‌ها لایه مخفی تا ۶ نورون در هر لایه مخفی افزایش داده شد. از ۴ نوع تابع انتقال تانژانت آکسون، سیگموئیدی، تانژانت اکسون خطی و سیگموئید خطی و از دو الگوریتم مونتوم و لونبرگ مارکویت به منظور دستیابی به ساختار بهینه شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. آنگاه شبکه با کمترین میانگین مربعات خطا به عنوان شبکه بهینه انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به خطای پیش بینی داده خروجی و همبستگی بین داده‌های پیش بینی شده و داده‌های

تجربی عملکرد شبکه مورد ارزیابی قرار گرفت. بالا بودن ضریب تبیین (R^2) بین مقادیر تجربی و مقادیر پیش بینی شده و حداقل بودن میانگین مربعات خطا نرمال شده (NMSE) به عنوان معیار کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی خصوصیات کیفی تخم‌مرغ طی فرایند نگهداری در نظر گرفته شد. آزمون حساسیت نیز به منظور سنجش میزان تأثیر گذاری هر یک از ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی بر روی پیش بینی داده‌های خروجی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات ظاهری تخم‌مرغ

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود خصوصیات ظاهری تخم‌مرغ شامل شاخص شکلی، تعداد منافذ و مساحت منافذ در تخم‌مرغ‌ها در دو دسته دمای اتاق و دمای یخچال اختلاف معنی دار نداشتند. هر چند به نظر می‌رسد خصوصیات ظاهری می‌تواند کیفیت تخم‌مرغ را تحت تأثیر قرار دهد اما اثر گذاری آن در مقایسه با عوامل دیگر مانند دمای نگهداری قابل چشم پوشی می‌باشد. نتیجه دریافتی با تحقیقات تابیدی (۲۰۱۱)، در رابطه با عدم تأثیر خصوصیات ظاهری (شاخص شکل و ضخامت پوسته) بر کیفیت داخلی تخم‌مرغ مطابقت دارد (تابیدی ۲۰۱۱).

خصوصیات کیفی تخم‌مرغ

افت وزنی

به طور کلی با افزایش طول دوره نگهداری تخم‌مرغ این فراسنجه افزایش می‌یابد. این کاهش وزن به دلیل خروج آب داخل تخم‌مرغ از منافذ موجود در پوسته می‌باشد (گراشون و همکاران ۲۰۱۶). همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود هم در دمای اتاق و هم در دمای یخچال در طول دوره ۸ هفته‌ای افت وزنی یک روند خطی و افزایشی داشته است. نرخ تغییرات افت وزنی تخم‌مرغ در دمای اتاق حدود ۲/۵ برابر بیشتر از نرخ این تغییرات در دمای یخچال بوده است.

به این ترتیب میزان افت وزنی در دمای اتاق از حدود ۳ درصد در هفته اول به حدود ۲۰ درصد در هفته هشتم رسیده است این در حالی است که افت وزنی در دمای یخچال از حدود ۱ درصد

تخم مرغ‌های فاقد پوشش پس از یک هفته نگهداری از درجه (AA) به (B) می‌رسند (جهانگیر اصفهانی ۲۰۲۱). اما مطابق جدول ۲ شاخص‌ها و تخم مرغ‌های موجود در یخچال در طی ۸ هفته نگهداری با وجود روند کاهشی، همگی درجه AA داشتند. بنابراین کیفیت سفیده تخم مرغ‌های موجود در یخچال در هفته هشتم بیشتر از کیفیت سفیده تخم مرغ‌های موجود در دمای اتاق در هفته اول بوده است. علاوه بر این براساس استاندارد USDA تخم مرغ‌های نگهداری شده در دمای یخچال حتی پس از دو ماه نگهداری در دمای یخچال برای مصرف خانوار مناسب هستند ولی تخم مرغ‌های نگهداری شده در دمای اتاق پس از یک هفته نگهداری صرفاً برای مصارف صنعتی مناسب هستند از این رو می‌توان گفت دما نقش مهمی در حفظ کیفیت سفیده و شاخص‌ها و در نتیجه ماندگاری تخم مرغ دارد.

شاخص زرده

شاخص زرده معیاری برای تعیین کیفیت و تازگی زرده تخم مرغ است و هرچه این شاخص به عدد ۰/۴۵ نزدیکتر باشد نشانگر کیفیت بهتر زرده تخم مرغ می‌باشد (آل هاجو و همکاران ۲۰۱۲؛ تاجیک ۲۰۱۰). شکل ۳، روند کاهشی شاخص زرده در هر دو دما مشاهده می‌شود. شاخص زرده در هر دو دما به صورت خطی ولی با شیب منفی با گذر زمان کاهش پیدا کرد. اما نرخ این تغییرات در دمای اتاق شدیدتر بود. همانطور که گفته شد در هفته‌های پنجم تا هشتم در تعدادی از تخم مرغ‌ها در دمای اتاق به دلیل پاره شدن غشای ویتلینی این شاخص قابل اندازه گیری نبود، شاخص زرده تخم مرغ‌های موجود در یخچال همگی بالای ۰/۴۰ بود و تخم مرغ‌های موجود در یخچال نسبت به تخم مرغ‌های موجود در دمای اتاق با گذشت هشت هفته همگی در رده مطلوب قرار داشتند. این امر نشان از تاثیر مثبت دمای یخچال در به تاخیر افتادن افت کیفیت زرده و در نهایت ماندگاری تخم مرغ می‌باشد. کاهش شاخص زرده در طول نگهداری، در نتیجه ضعیف شدن تدریجی غشاهای ویتلین و خروج رطوبت از زرده اتفاق می‌افتد (توریکو ۲۰۱۰). از این رو در دمای یخچال در مقایسه با دمای اتاق به دلیل کاهش فشار بخار درون تخم مرغ انتشار رطوبت کمتر اتفاق می‌افتد و کیفیت تخم مرغ مدت زمان بیشتری حفظ می‌شود. نتایج این

در هفته اول به حدود ۷ درصد در هفته هشتم رسیده است. این پدیده در نتیجه افزایش فشار بخار آب درون تخم مرغ با افزایش دمای نگهداری و به تبع از آن خروج رطوبت بیشتر از تخم مرغ می‌باشد. میکائیل و همکاران (۲۰۱۶)، نتایج مشابهی درباره تاثیر دما روی افت وزنی مشاهده کرده بودند (گراشون و همکاران ۲۰۱۶).

شاخص‌ها و

تغییرات شاخص‌ها و برای دماهای مختلف نگهداری در طی زمان در شکل ۲ نشان داده شده است. در طی دوره نگهداری هشت هفته‌ای در هر دو دمای اتاق و یخچال شاخص‌ها و دارای روند کاهشی بود ولی نرخ کاهشی این شاخص در دمای اتاق حدود ۳/۷ برابر بیشتر از دمای یخچال بود. در بعضی از تخم مرغ‌های موجود در دمای اتاق پس از پنج، شش، هفت و هشت هفته نگهداری به ترتیب یک، یک، پنج و شش زرده و سفیده تخم مرغ به محض شکستن مخلوط شدند. اما همه تخم مرغ‌های نگهداری شده در دمای یخچال تا هفته هشتم سالم و در محدوده درجه کیفیت AA بودند (جدول ۱) به نظر می‌رسد در دمای پایین فشار بخار درون و بیرون تخم مرغ کمتر است و انتشار آب از درون سفیده به بیرون کمتر اتفاق می‌افتد و رطوبت و تازگی آن حفظ می‌شود (توریکو ۲۰۱۰). از سوی دیگر به دلیل خروجی جزئی دی اکسید کربن از تخم مرغ اتصال بین لیپوزیم و اووموسین دچار آسیب کمتری می‌شود و به این ترتیب تازگی تخم مرغ در یخچال مدت زمان بیشتری حفظ می‌شود. نتایج پژوهش‌های میکائیل و همکاران (۲۰۱۶) تشابه قابل توجهی با نتایج این پژوهش داشت (گراشون و همکاران ۲۰۱۶).

تعیین درجه کیفیت تخم مرغ بر اساس شاخص‌ها و

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود تخم مرغ‌های موجود در دمای اتاق در طی یک هفته نگهداری از درجه AA به A رسیدند، به طوریکه هفته اول درجه A داشتند و بعد از یک هفته از هفته دوم تا ششم به درجه B رسیدند و در هفته هفت و هشت به دلیل مخلوط شدن زرده و سفیده در تعدادی از تخم مرغ‌ها شاخص‌ها و آن‌ها غیر قابل اندازه گیری بود ولی شاخص‌ها و تخم مرغ‌های سالم باقی مانده در آن هفته درجه C داشتند. جهانگیر اصفهانی و همکاران (۱۴۰۰)، نیز دریافتند که

پژوهش با نتایج واردی و همکاران (۲۰۱۰)، توریکو و همکاران (جهانگیر اصفهانی ۲۰۲۱؛ توریکو ۲۰۱۰؛ واردی و همکاران ۲۰۱۰) و جهانگیر اصفهانی و همکاران (۱۴۰۰) هم‌خوانی دارد.

Table 1- Physical properties of the eggs used in this study^{‡,*}

Storage Temperature	Value(px ²)	Number of pores	Shape Index
Refrigerator	16345±7713 ^a	102±48 ^a	0.78±0.03 ^a
Room	16301±10213 ^a	104±65 ^a	0.78±0.03 ^a

* Means within each column with the same letters are not significant (P<0.05).

[‡] Data are means ± SD.

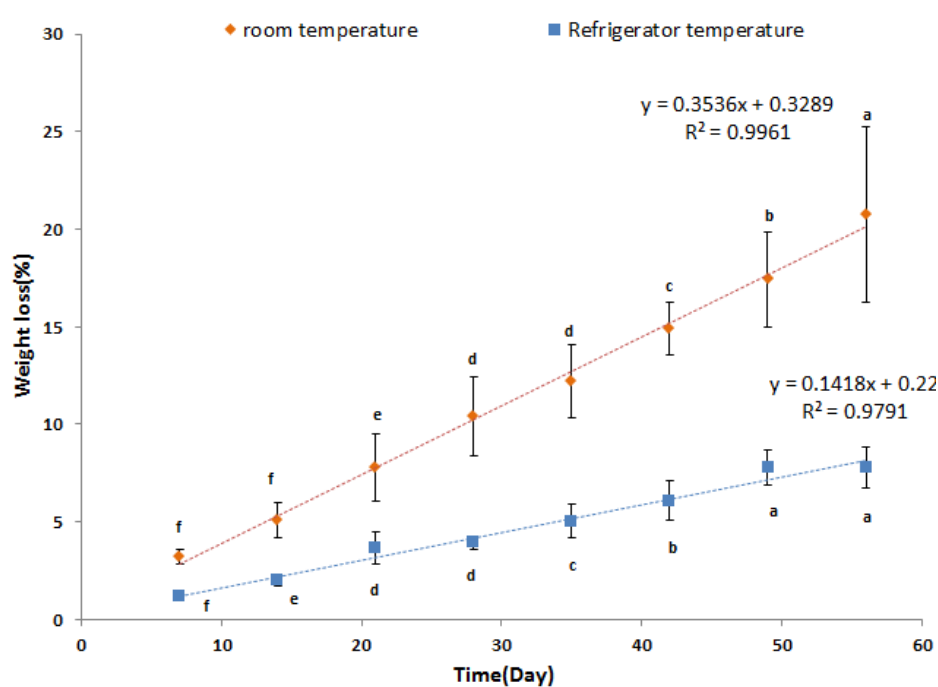


Figure 1- Weight loss during 8 weeks of storage at room and refrigerator temperatures,

*Same letters at each temperature are not significant differences (P<0.05)

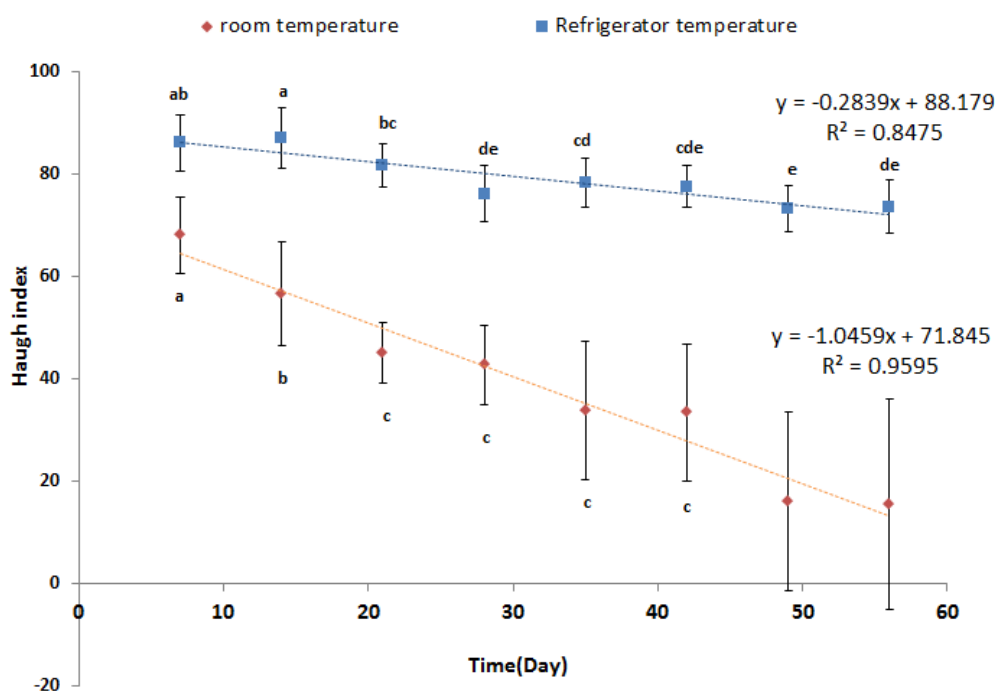


Figure 2- Haugh unit during 8 weeks of storage at room and refrigerator temperatures,
 *Same letters at each temperature are not significant differences ($P < 0.05$)

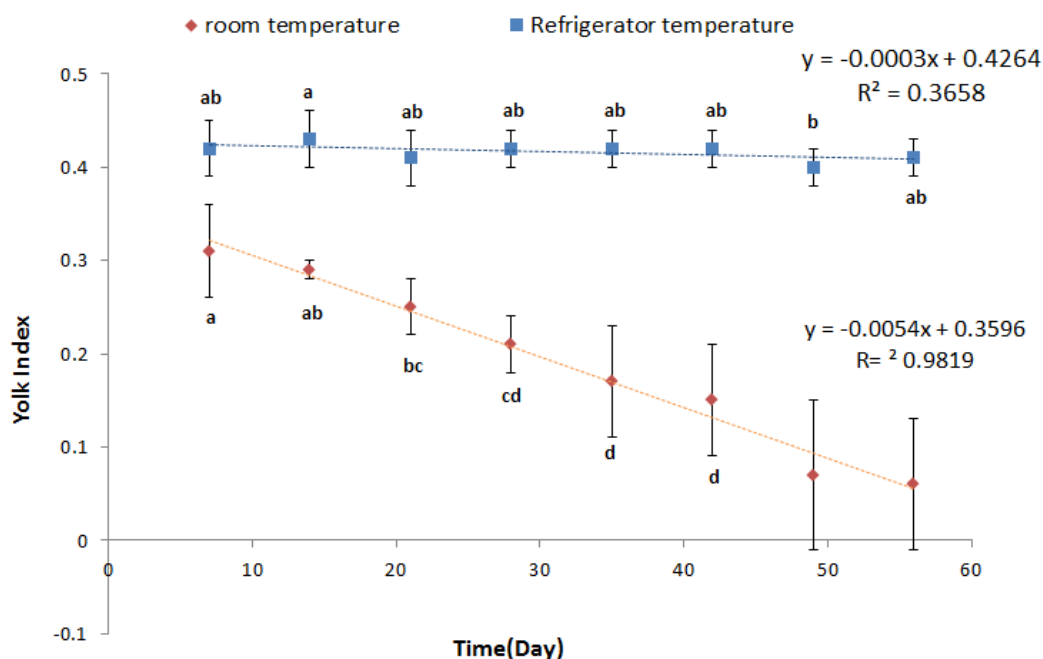


Figure 3- Yolk index during 8 weeks of storage at room and refrigerator temperature,
 *Same letters at each temperature are not significant differences ($P < 0.05$)

شرایط زیر برای درجه بندی تخم مرغ از اندازه کیسه هوا استفاده کرد (هاور ۱۹۶۱). به این ترتیب تخم مرغ های عمق کیسه ی هوا تا $\frac{1}{8}$ اینچ (تا $\frac{3}{2}$ میلیمتر) درجه AA، عمق کیسه ی هوا از $\frac{1}{8}$ تا

کیسه هوا

افزایش عمق سلول هوا به دلیل انتشار بخار آب از طریق پوسته تخم مرغ است. مطابق استاندارد USDA می توان با توجه به

کیسه هوا بزرگتر می‌شود. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، اندازه کیسه هوا تنها در صورتی که تخم‌مرغ‌ها در دمای یخچال نگهداری شوند، تا حدود دو هفته نگهداری در محدوده کیفیت A باقی ماند، اما در دمای اتاق عمق کیسه هوا به سرعت افزایش یافت. به طوری که پس از یک هفته وارد محدوده کیفیت B شدند. این پدیده بیانگر تاثیر دما روی افزایش عمق کیسه هوا می‌باشد نتایج این پژوهش با نتایج میکایل و همکاران (۲۰۱۶)، هماهنگی خوبی دارد (گراشون و همکاران ۲۰۱۶).

$\frac{3}{16}$ اینچ (۳/۲ تا ۴/۸ میلیمتر) درجه A و عمق کیسه‌ی هوا بیش از $\frac{3}{16}$ اینچ (بیش از ۴/۸ میلیمتر) درجه B محسوب می‌شوند. شکل ۴ روند افزایشی اندازه کیسه هوا در تخم‌مرغ‌های موجود در هر دو دمای اتاق و یخچال را نشان می‌دهد. عمق کیسه هوا در هر دو دما به صورت خطی ولی با شیب مثبت با گذر زمان افزایش پیدا کرد. اما نرخ این تغییرات در دمای اتاق شدیدتر بود. علت این تغییرات آن است که با گذر زمان در دمای بالاتر به علت خروج بیشتر رطوبت و جایگزین شدن آن با هوا، حجم

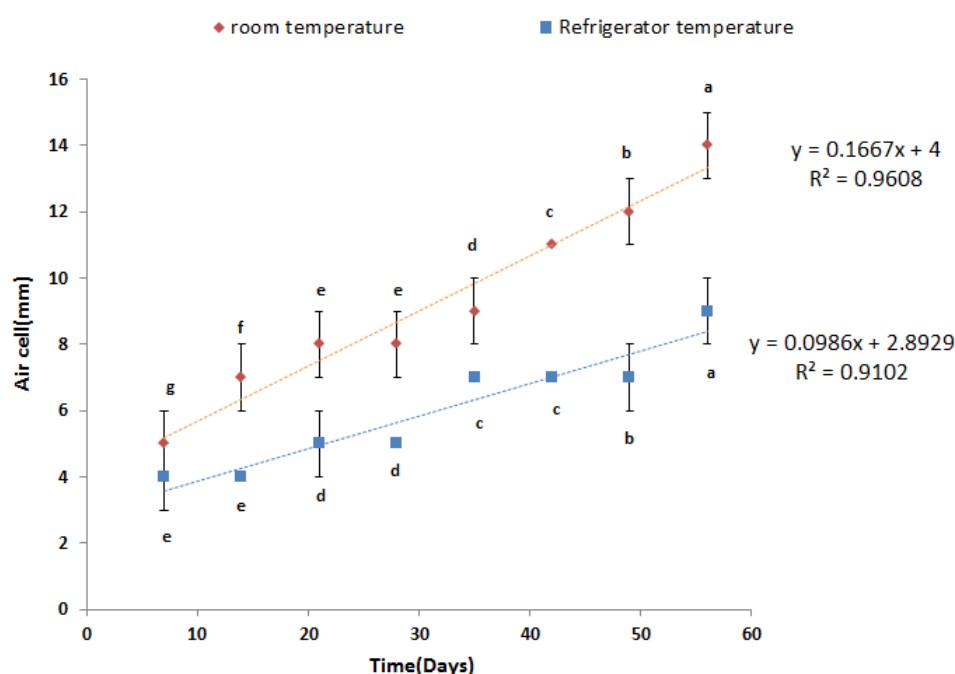


Figure 4- Changes in the depth of the air cell during 8 weeks of storage at room and refrigerator temperature

*Same letters at each temperature are not significant differences ($P < 0.05$)

Table2 - Egg grading based on Haugh unit and air cell

Grading Criteria	Storage Temperature	Storage Time (Day)							
		7	14`	21	28	35	42	49	56
Haugh unit [#]	Room	68.07±7.40	56.65±10.21	44.99±5.92	42.72±7.69	37.67±6.51	37.12±6.56	Non detected	Non detected
		A	B	B	B	B	B	C	C
	Refrigerator	86.16±5.45	87.06±5.86	81.72±4.23	76.14±5.47	78.1±4.71	77.63±4.13	73.25±4.55	73.62±5.22
		AA	AA	AA	AA	AA	AA	AA	AA
Air cell ^{\$} (mm)	Room	5±1	7±1	8±1	8±1	9±1	11±1	12±1	14±1
		B	B	B	B	B	B	B	B
	Refrigerator	4±1	4±0	5±1	5±0	7±1	7±1	7±1	9±1
		A	A	B	B	B	B	B	B

Letters in bracket (A, B, C) are grading of eggs based on the Haugh unit

\$ Letters in bracket (A, B, C) are grading of eggs based on the depth of air cell

شبکه عصبی

در این پژوهش برای یافتن بهترین مدل شبکه عصبی، از مدل شبکه عصبی پروسپترون چند لایه استفاده شد و از آن جا که کمینه سازی خطا می‌توان با تغییر الگوریتم‌ها، توابع انتقال و تعداد نوروها صورت پذیرد سعی شد با تغییر این مولفه‌ها مناسب‌ترین شرایط آنها به منظور کمینه کردن میانگین مربعات خطا^۱ تعیین گردد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با تابع انتقال تانژانت اکسون و الگوریتم لوبنبرگ مارکویت در لایه ورودی و تابع انتقال تانژانت اکسون و الگوریتم مومنتوم در لایه خروجی با یک لایه پنهان و ۴ گره دارای کمترین مجموع مربعات خطا بود. سلطانی و همکاران (۲۰۱۵)، نیز هم چنین برای پیش‌بینی شاخص‌های کیفیت تخم‌مرغ، برای به حداقل رساندن خطای پیش‌بینی، از یک شبکه عصبی پیشخور، با تعداد لایه‌های مخفی و نرون‌های مختلف و از الگوریتم لوبنبرگ مارکویت و از تابع انتقال سیگموئید برای لایه‌های پنهان و تابع انتقال خطی برای لایه‌های خروجی استفاده کردند و دریافتند که بهترین نتیجه با استفاده از ۱۰ نرون در لایه پنهان دوم با کمترین خطا به دست آمده است (سلطانی و همکاران ۲۰۱۵). در جدول ۲ مقدار MSE ، $NMSE$ و R پس از آزمودن^۲ شبکه بهینه مشاهده می‌شود. با توجه به وابستگی MSE به مقدار عددی داده‌ها، از $NMSE$ به منظور تشخیص کمترین مقدار خطا فارغ از مقدار عددی آن استفاده شده است. براساس مقدار $NMSE$ افت وزنی کمترین خطای پیش‌بینی دارد و پس از آن به ترتیب شاخص زرده، عمق کیسه هوا و شاخص‌ها و کمترین خطا را در مرحله آزمودن داشتند. مقدار R ضریب همبستگی داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی را با داده‌های واقعی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار R در افت وزنی ($R=0/96$)، شاخص زرده ($R=0/94$)، عمق کیسه هوا ($R=0/93$) و شاخص‌ها و ($R=0/88$) به ترتیب بیشترین مقادیر بودند. سلطانی و همکاران (۲۰۱۵)، دریافتند مقادیر ضریب تعیین (R^2) در اعتبارسنجی شبکه عصبی برای شاخص‌ها و شاخص زرده و زرده/آلبومن و وزن زرده به ترتیب ۰/۹۹۸، ۰/۹۹۸،

۰/۹۹۸ و ۰/۹۹۴ می‌باشد. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که مدل طراحی شده می‌تواند با اطمینان در پیش‌بینی شاخص‌های کیفیت تخم‌مرغ استفاده شود (سلطانی و همکاران ۲۰۱۵). در شکل ۵ به ترتیب مقدار همبستگی بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی در فراسنجه‌های کیفی تخم‌مرغ را نشان می‌دهند. به این ترتیب همبستگی خوبی (بالای ۰/۸) بین مقدار داده‌ها و مقدار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی وجود دارد. مقدار همبستگی بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده بر اساس مقدار R قبلاً در جدول ۴ گزارش شده بود. از این رو به نظر می‌رسد مدل شبکه عصبی توسعه داده شده می‌تواند با اطمینان در پیش‌بینی شاخص‌های کیفیت تخم‌مرغ استفاده شود. شکل ۶ حساسیت خروجی‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی نسبت به هر یک از ورودی‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود اثر دما و زمان از سایر ورودی‌ها مانند تعداد منافذ، مساحت منافذ و فاکتور شکلی بسیار چشمگیرتر بوده است. البته در این میان حساسیت فراسنجه‌ها نسبت به دما مشهودتر از زمان بود. بنابراین فراسنجه‌های دما و زمان در ماندگاری تخم‌مرغ بسیار تاثیرگذار هستند. اگرچه به صورت منطقی ممکن است کیفیت تخم‌مرغ تحت تاثیر خصوصیات ظاهری پوسته مانند تعداد منافذ، مساحت منافذ و فاکتور شکلی قرار بگیرد اما اثر آنها در مقابل تاثیری که دما و زمان روی خصوصیات کیفی دارند قابل چشم‌پوشی می‌باشد و تاثیر چندانی در ماندگاری تخم‌مرغ نخواهند داشت.

به منظور پژوهش‌های بعدی وزن و بایاس مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی ارزیابی شده در شرایط آموزش، ارزیابی و اعتبارسنجی نیز در دسترس هستند.

² Testing¹ Mean square error

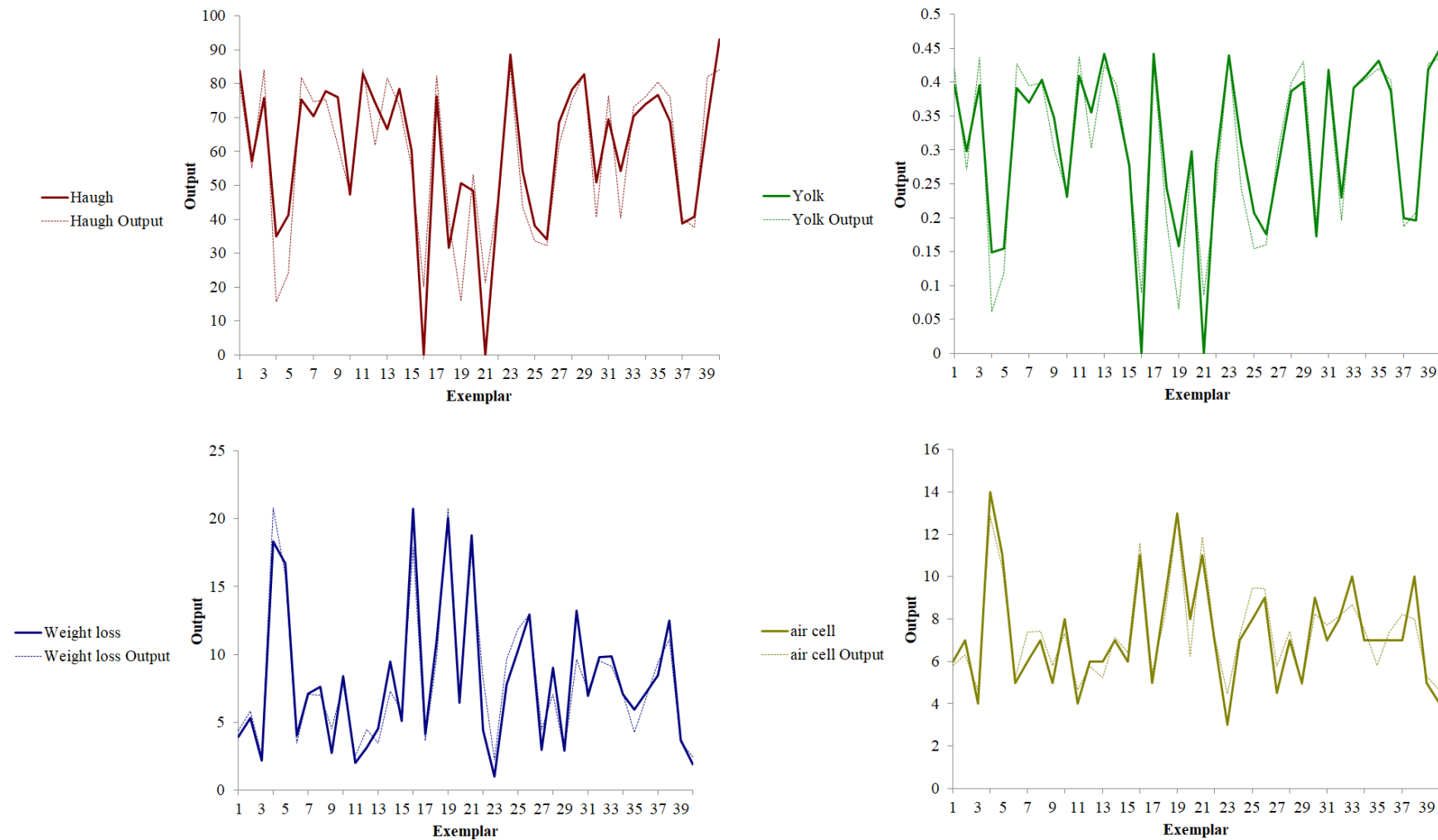


Figure 5- Correlation between real data and predicted data by artificial neural network in qualitative parameters

Table 2- Correlation between real data and predicted data by artificial neural network in qualitative parameters

	Air cell (mm)	Weight loss (%)	Yolk index	Haugh unit
MSE	0.735802125	2.008224528	0.001519221	113.5007249
NMSE	0.123408203	0.074381023	0.109480873	0.245011029
MAE	0.715786376	1.080970187	0.029915272	7.910770733
Min Abs Error	0.129743643	0.013919401	0.00010518	0.115471464
Max Abs Error	1.998470985	3.798807288	0.091932425	34.83394848
R	0.938069888	0.962397202	0.9497323	0.884068883

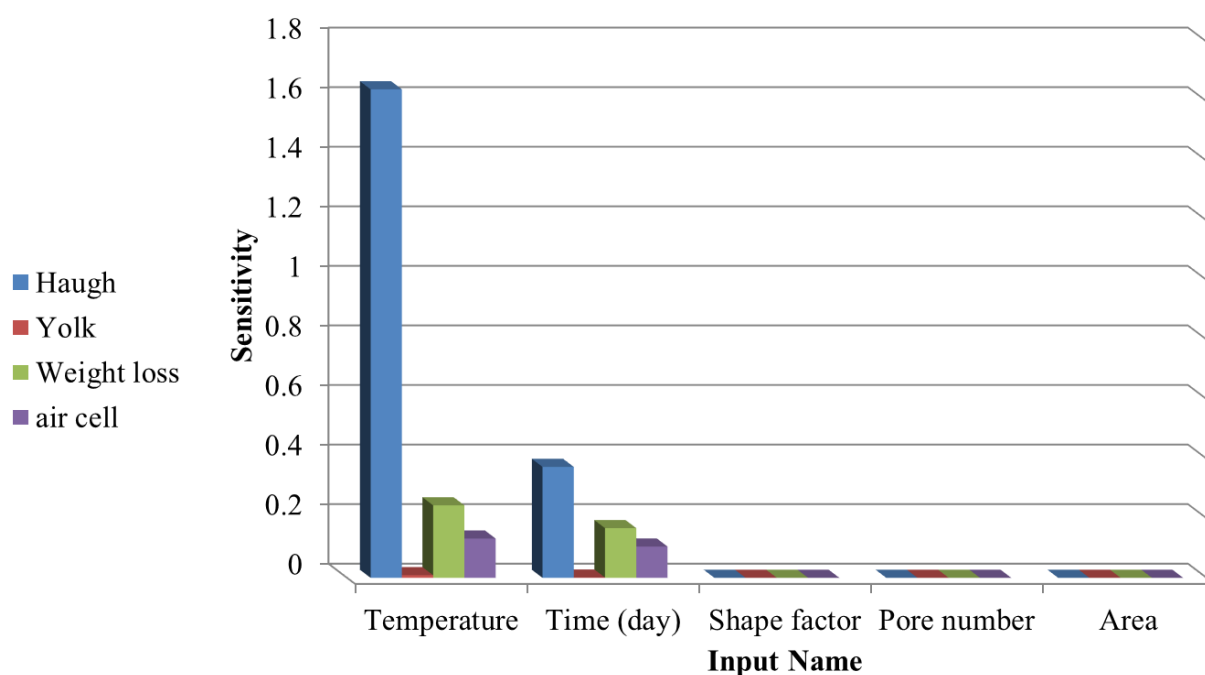


Figure 6 - The test of sensitivity to the inputs of the artificial neural network

نتیجه گیری

براساس نتایج این پژوهش به طور کلی کیفیت تخم مرغ به شدت تحت تأثیر دمای نگهداری قرار می گیرد و به طور طبیعی با گذشت زمان نگهداری این شاخصه ها کاهش می یابند. تقریباً تمام شاخصه های کیفی تخم مرغ در هر یک از دماهای نگهداری (یخچال و اتاق) دارای رابطه رگرسیون خطی با ضریب تعیین بالا هستند. ولی نمی توان از این روش برای بررسی اثرات همزمان همه مولفه های موثر بر شاخصه های کیفی تخم مرغ استفاده کرد.

مدل شبکه عصبی مصنوعی که شبکه عصبی با تابع انتقال تانژانت اکسون و الگوریتم لوبنبرگ مارکویت در لایه ورودی و تابع انتقال تانژانت اکسون و الگوریتم مومنتوم در لایه خروجی با یک لایه پنهان و ۴ گره به منظور پیش بینی فراسنجه های کیفی تخم مرغ با توجه به مولفه هایی مانند دما، زمان نگهداری،

شاخص شکل، تعداد روزنه ها و مساحت روزنه ها کارایی خود را به خوبی اثبات کرد.

استفاده از شبکه عصبی مصنوعی علاوه بر این که توانست به منظور پیش بینی فراسنجه های کیفی تخم مرغ مورد استفاده قرار گیرد؛ نشان داد در بین تمام مولفه های مورد ارزیابی دما و مدت زمان نگهداری تخم مرغ به طور بسیار چشم گیری بر خصوصیات کیفی تخم مرغ اثر گذار است و در این میان دمای نگهداری نسبت به مدت زمان نگهداری تأثیر بیشتری بر کیفیت تخم مرغ دارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از حمایت های بی دریغ دانشگاه زنجان که زمینه ساز اجرای این پایان نامه شد، قدردانی می کنند. بدون پشتیبانی های همه جانبه این دانشگاه، انجام این پژوهش میسر نبود.

References

- Akyurek, H., & Okur, A. A. 2009. Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-range layer hens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(10): 1953–1958.
- Al-Hajo, N. N., Zangana, B. S., Al-Janabi, L. A., & Al-Khalani, F. 2012a. Effect of coating materials (gelatin) and storage time on internal quality of chicken and quail eggs under refrigerated storage. *Egyptian Poultry Science Journal*, 32: 107–115.
- Al-Hajo, N. N., Zangana, B. S., Al-Janabi, L. A., & Al-Khalani, F. 2012b. Effect of coating materials (gelatin) and storage time on internal quality of chicken and quail eggs under refrigerated storage. *Egyptian Poultry Science*, 32: 107–115.
- Biladeau, A., & Keener, K. 2009. The effects of edible coatings on chicken egg quality under refrigerated storage. *Poultry Science*, 88(6): 1266–1274.
- Caner, C. 2005. Whey protein isolate coating and concentration effects on egg shelf life. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(13): 2143–2148.
- Caner, C., & Cansiz, O. 2007. Effectiveness of chitosan-based coating in improving shelf-life of eggs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(2): 227–232.
- Commission, E. 2008. Commission Regulation (EC) No. 589/2008 of 23 June 2008 laying down detailed rules for implementing Council Regulation (EC) No. 1234/2007 as regards marketing standards for eggs. *Official Journal of the European Union*, 50: 6–23.
- De Ketelaere, B., Bamelis, F., Kemps, B., Decuyper, E., & De Baerdemaeker, J. 2004. Non-destructive measurements of the egg quality. *World's Poultry Science Journal*, 60(3): 289–302.
- Duman, M., Sekeroglu, A., Yildirim, A., Eleroglu, H., & Camci, O. 2016. Relation between egg shape index and egg quality characteristics. *European Poultry Science*, 80(1): 1–9.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2023. FAOSTAT. [Online]. Available: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Ghazanfari, S., Nobari, K., & Tahmoorespur, M. 2011. Prediction of egg production using artificial neural network.
- Goyal, S., & Goyal, G. K. 2012. Shelf life estimation of processed cheese by artificial neural network expert systems. *Journal of Advanced Computer Science and Technology*, 1(1): 32–41.

- Grashorn, M., Juergens, A., & Bessei, W. 2016. Effects of storage conditions on egg quality. *Lohmann Information*, 50: 22–27.
- Hauver, W. E. 1961. Egg grading manual. US Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service.
- Haykin, S. 2010. Neural networks: a comprehensive foundation. McMillan, New Jersey.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2007. Preparation and storage of edible egg – Code of practice (Vol. 3676). Tehran.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2010. Code of hygienic practice for eggs and egg products (Vol. 5013).
- Iran Veterinary Organization. 2019. National Program for Improving the Quality and Safety Assurance of Eggs (Vol. IVO/20/98).
- Jahangir-Esfahani, H., Soltanizadeh-Gargari, I., & Pourata, R. 2021. Investigation into extending shelf life of chicken eggs using UV-C irradiated starch-oleic acid coating solutions. *Journal of Food Research (Agricultural Science)*, 31: 67–81.
- Menhaj, M. B. 2017. Fundamentals of neural networks.
- Mine, Y., Guyonnet, V., Hatta, H., & Nau, N. 2023. Handbook of Egg Science and Technology (1st ed.).
- Narushin, V., Romanov, M. N., & Bogatyr, V. 2002. AP–animal production technology: relationship between pre-incubation egg parameters and chick weight after hatching in layer breeds. *Biosystems Engineering*, 83(3): 373–381.
- Nematinia, E., & Abdanan Mehdizadeh, S. 2018. Assessment of egg freshness by prediction of Haugh unit and albumen pH using an artificial neural network. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3): 1449–1459.
- Nematinia, E., & Mehdizadeh, S. A. 2018. Assessment of egg freshness by prediction of Haugh unit and albumen pH using an artificial neural network. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3): 1449–1459.
- No, H., Meyers, S. P., Prinyawiwatkul, W., & Xu, Z. 2007. Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: a review. *Journal of Food Science*, 72(5): R87–R100.
- Norusis, M. J. 1993. SPSS. SPSS Incorporated.
- Pekel, E., & Kara, S. S. 2017. A comprehensive review for artificial neural network application to public transportation. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 35(1): 157–179.
- Pescatore, T., & Jacob, J. 2011. Grading table eggs. University of Kentucky Cooperative Extension, Lexington.
- RANJBAR, M., ALIJANI, S., MIRGHELENJ, S., & DAGHIGHKIA, H. 2015. Estimation of genetic and phenotypic parameters for internal egg quality traits of Azerbaijan native chickens.
- Seregély, Z., Farkas, J., Tuboly, E., & Dalmadi, I. 2006. Investigating the properties of egg white pasteurised by ultra-high hydrostatic pressure and gamma irradiation by evaluating their NIR spectra and chemosensor array sensor signal responses using different methods of qualitative analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 82(1–2): 115–121.
- Shahram, M., Ghanbarzadeh, B., Souti, M., Qiyasi Far, S., & Jalali, S. H. 2012. The use of edible active coatings based on carboxymethyl cellulose containing oleic acid and antimicrobial compounds to improve the quality and increase the shelf life of eggs. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 8(2): 235–244.
- Siyar, S. H., Aliarabi, H., Ahmadi, A., & Ashori, N. 2007. Effect of different storage conditions and hen age on egg quality parameters. *Proceedings of the 19th Australian Poultry Science Symposium*, Sydney, New South Wales, Australia, 12–14 February 2007.
- Soltani, M., Omid, M., & Alimardani, R. 2015. Egg quality prediction using dielectric and visual properties based on artificial neural network. *Food Analytical Methods*, 8(3): 710–717.
- Statistical Centre of Iran. 2020. Summary of the census of chicken farms breeding laying hens.

- Suktanarak, S., & Teerachaichayut, S. 2017. Non-destructive quality assessment of hens' eggs using hyperspectral images. *Journal of Food Engineering*, 215: 97–103.
- Suppakul, P., Jutakorn, K., & Bangchokedee, Y. 2010. Efficacy of cellulose-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs. *Journal of Food Engineering*, 98(2): 207–213.
- Tabidi, M. H. 2011. Impact of storage period and quality on composition of table egg. *Advances in Environmental Biology*, 5(5): 856–861.
- Tajik, H., Aminzare, Y., & Moradi, M. 2010. Effects of edible zein and chitosan coating assimilated by oregano essential oil on the quality parameters of egg. *Journal of Food Research (Agricultural Science)*, 20(3): 73–90.
- Torrico, D. D. 2010. Effects of emulsion coatings on the internal quality and shelf life of eggs.
- Vojdani, F., & Torres, J. A. 1990. Potassium sorbate permeability of methylcellulose and hydroxypropyl methylcellulose coatings: Effect of fatty acids. *Journal of Food Science*, 55(3): 841–846.
- Wardy, W., Torrico, D. D., Herrera Corredor, J. A., No, H. K., Zhang, X., Xu, Z., & Prinyawiwatkul, W. 2013. Soybean oil-chitosan emulsion affects internal quality and shelf-life of eggs stored at 25 and 4 C. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(6): 1148–1156.
- Wardy, W., Torrico, D. D., No, H. K., Prinyawiwatkul, W., & Saalia, F. K. 2010. Edible coating affects physico-functional properties and shelf life of chicken eggs during refrigerated and room temperature storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(12): 2659–2668.