University of Tehran Press

Journal of Animal Production

Online ISSN: 2382-994X

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

Modeling and optimization of the effect of broiler diet formulation and conditioning temperature on the physical quality of pellet and production efficiency of poultry feed factory

Mohaddeseh Esnaashari[1] | Hamed Ahmadi[2]✉ | Farid Shariatmadari[3] | Mostafa Lotfi[4]

1. Department of Poultry Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: mhds.esnaashari@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Poultry Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: hamed.ahmadi@modares.ac.ir
3. Department of Poultry Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: shariatf@modares.ac.ir
4. Department of Poultry Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran .E-mail: mostafa_lotfi_2007@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: July 30, 2022
Received in revised form: March 12, 2023
Accepted: March 13, 2023
Published online: April 14, 2023

Keywords:
Artificial neural network,
Computational modeling,
Electric energy consumed,
Pellet physical quality,
Production efficiency.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of mixer added fat, crude protein and conditioning temperature on the pellet durability index, modified pellet durability index and electrical energy consumption during feed production using computational modeling tools. In this research, a total of 192 broiler feed samples with different levels of mixer added fat (four levels) and crude protein (four levels) in feed components and different conditioning temperatures (three levels) to determine the pellet durability index, modified pellet durability index and electrical energy consumption during feed production were used. Multiple linear regression models and artificial neural network were used to analyze these data. Both mentioned models had the ability to predict the value of the pellet durability index, modified pellet durability index and the electrical energy consumption during feed production; but the prediction accuracy of the artificial neural network model was higher than that of the multiple linear regression model for all three outputs. Optimization was done using the artificial neural network model, and in these calculations, in order to achieve the highest possible level of pellet physical quality and the lowest possible level of electrical energy consumption, the crude protein amount was 20-20.5 percent and the conditioning temperature was predicted to be 85 degrees Celsius. However, the amount of fat was predicted to be one percent for the highest amount of pellet physical quality and four percent for the lowest amount of electrical energy consumption during production. In practical conditions, this model can help in more accurate prediction of electricity consumption and the quality of produced feed in order to achieve the optimal situation in feed production factories.

Cite this article: Esnaashari, M., Ahmadi, H., Shariatmadari, F., & Lotfi, M. (2023). Modeling and optimization of the effect of broiler diet formulation and conditioning temperature on the physical quality of pellet and production efficiency of poultry feed factory. *Journal of Animal Production*, 25 (1), 93-105 DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2023.346524.623701

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2023.346524.623701

انتشارات دانشگاه تهران

تولیدات دامی

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۲-۹۹۴x

مدل‌سازی و بهینه‌سازی اثر متوازن‌کردن جیره جوجه‌های گوشتی و دمای حالت‌دهنده بر کیفیت فیزیکی پلت و بازدهی تولید کارخانه خوراک طیور

محدثه اثنی‌عشری[۱] | حامد احمدی[۲]✉ | فرید شریعتمداری[۳] | مصطفی لطفی[۴]

۱. گروه علوم طیور، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، رایانامه: mhds.esnaashari@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم طیور، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، رایانامه: hamed.ahmadi@modares.ac.ir

۳. گروه علوم طیور، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، رایانامه: shariatf@modares.ac.ir

۴. گروه علوم طیور، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، رایانامه: mostafa_lotfi_2007@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵

کلیدواژه‌ها:
انرژی الکتریکی مصرفی،
بازدهی تولید،
شبکه عصبی مصنوعی،
کیفیت فیزیکی پلت،
مدل‌سازی محاسباتی.

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثرات چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن، پروتئین خام جیره و دمای حالت‌دهنده بر شاخص ماندگاری پلت، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت و انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک با استفاده از ابزارهای مدل‌سازی محاسباتی بود که از ۱۹۲ نمونه خوراک جوجه‌های گوشتی با سطوح مختلف چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن (چهار سطح) و پروتئین خام (چهار سطح) در اجزای خوراک و دماهای مختلف حالت‌دهنده (سه سطح) برای تعیین شاخص ماندگاری پلت، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت و انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک استفاده شد. برای تحلیل این داده‌ها مدل‌های تابعیت خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی مورداستفاده قرار گرفت. هر دو مدل ذکرشده توانایی پیش‌بینی مقدار شاخص ماندگاری پلت، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت و انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک را داشتند، اما دقت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل تابعیت خطی چندگانه برای هر سه خروجی بیش‌تر بود. با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی بهینه‌سازی انجام شد که در این محاسبات برای رسیدن به بیش‌ترین میزان ممکن کیفیت فیزیکی پلت و کم‌ترین میزان ممکن انرژی الکتریکی مصرفی مقدار پروتئین خام، ۲۰–۲۰/۵ درصد و مقدار دمای حالت‌دهنده، ۸۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد، اما میزان چربی برای بیش‌ترین مقدار کیفیت فیزیکی پلت، یک درصد و برای کم‌ترین مقدار انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید، چهار درصد پیش‌بینی شد. براساس نتایج حاصل، مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند در شرایط کاربردی در پیش‌بینی دقیق‌تر مصرف برق و کیفیت خوراک تولیدشده به‌منظور دستیابی به وضعیت مطلوب در کارخانه‌های تولید خوراک کمک کند.

استناد: اثنی‌عشری، م.، احمدی، ح.، شریعتمداری، ف. و لطفی، م (۱۴۰۲). مدل‌سازی و بهینه‌سازی اثر متوازن‌کردن جیره جوجه‌های گوشتی و دمای حالت‌دهنده بر کیفیت فیزیکی پلت و بازدهی تولید کارخانه خوراک طیور. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۵ (۱)، ۹۳–۱۰۵.

DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2023.346524.623701

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

صنعت خوراک دام و طیور پیوسته در جستجوی راه‌کارهایی برای بهبود فنون فرآوری خوراک به‌منظور تولید خوراک با کیفیت و اقتصادی است. یکی از روش‌های فرآوری خوراک دام و طیور که نیازمند بهبود مداوم است، پلت‌کردن است. پلت‌کردن یک فرایند حرارتی است که در تولید خوراک دام استفاده می‌شود. هدف اصلی ساخت پلت، متراکم‌کردن ذرات ریز خوراک با استفاده از فشار مکانیکی، رطوبت و حرارت است [۲]. پرندگانی که با خوراک پلت تغذیه می‌شوند، زمان و انرژی کم‌تری را صرف مصرف غذا می‌کنند و به‌ازای هر واحد انرژی مصرف‌شده، مواد مغذی بیش‌تری را نسبت به پرندگانی که با جیره‌های آردی تغذیه می‌کنند، دریافت می‌کنند [۳]. پلت‌کردن سبب جلوگیری از انتخاب ذرات غذایی توسط پرندگان و تضمین دریافت متعادل مواد مغذی می‌گردد. هم‌چنین پلت‌کردن می‌تواند استفاده از مواد ارزان قیمت و با خوش خوراکی کم‌تر را در جیره جوجه‌های گوشتی امکان پذیر کند [۳]. با این‌حال پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تغذیه جوجه‌های گوشتی با خوراک پلت در مقایسه با خوراک آردی، میزان مرگ‌ومیر ناشی از ابتلا به آسیت را افزایش داده است [۲۴].

کیفیت فیزیکی پلت به دو شاخص سختی و ماندگاری وابسته است که سختی بیانگر نیروی لازم برای خردکردن پلت طی یک زمان مشخص و ماندگاری بیانگر میزان باقیمانده پلت پس از طی فرایندهایی مانند اختلاط مکانیکی یا مخلوط‌شدن براثر فشار هوا است. عوامل زیادی بر کیفیت فیزیکی پلت مؤثر هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به مواد تشکیل‌دهنده جیره، حالت‌دهندگی (Conditioning)، ویژگی‌های قالب سوراخ (Die)، رطوبت، خنک‌شدن و خشک‌شدن پلت اشاره کرد. کنترل این عوامل در طی فرایندهای تولید باعث افزایش کیفیت پلت می‌شود [۷]. مطالعات نشان دادند پرندگانی که با خوراک پلت تغذیه می‌شوند عملکرد بهتری نسبت به پرندگانی دارند که با خوراک آردی تغذیه می‌شوند [۱۳]؛ اما این در صورتی است که خوراک پلت تا زمان مصرف شکل فیزیکی خود را از دست ندهد [۱۹]. پژوهش‌گران گزارش کردند که پرندگانی که با خوراک پلت با شاخص ماندگاری بالا تغذیه شدند نسبت به پرندگانی که خوراک پلت با شاخص ماندگاری پایین‌تری مصرف کردند افزایش وزن بیش‌تری را در پایان دوره از خود نشان دادند. درواقع پرندگان تغذیه‌شده با خوراک پلت دارای شاخص ماندگاری پایین نسبت به پرندگانی که خوراک آردی مصرف کرده‌اند عملکرد تقریباً یکسانی داشتند [۲].

یکی دیگر از عوامل موردتوجه در طی تولید خوراک پلت، میزان انرژی الکتریکی (مصرف برق) مصرفی است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد برخی عوامل مانند اجزای خوراک و شرایط برخی مراحل پلت‌سازی بر انرژی الکتریکی مصرفی اثرگذار هستند [۱۲ و ۱۶]. با وجود تمام مزایای استفاده از خوراک پلت در صنعت طیور، هزینه فرایند تولید خوراک پلت بسیار زیاد است. با توجه به تمایل بیش‌تر مشتری به خوراک با کیفیت، در نتیجه افزایش هزینه انرژی و اجزای تشکیل‌دهنده خوراک، سودآوری شرکت‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین باید تلاش کرد فرآوری خوراک با کم‌ترین هزینه و بهترین کیفیت انجام شود. در یک کارخانه تولید خوراک، انرژی الکتریکی زیادی برای راه‌اندازی خط تولید موردنیاز است. در نتیجه، باید به میزان مصرف انرژی الکتریکی در قسمت‌های مختلف خط تولید از جمله آسیاب و حالت‌دهنده که بیش‌ترین میزان مصرف انرژی الکتریکی را دارند، توجه زیادی شود.

امروزه به‌واسطه دسترسی به ابزارهای سنجش دقیق، داده‌های بسیار زیادی در سطح کارخانه‌ها ثبت می‌شود، بنابراین مهم است که ابزارهای آنالیز داده و مدل‌سازی برای رسیدن به نتایج و تحلیل‌های سریع و دقیق از داده‌های خطوط تولیدی مورداستفاده قرار گیرد. با مدل‌های آنالیز داده جدید می‌توان داده‌های تجربی به‌دست‌آمده در آزمایش‌های تغذیه‌ای یا داده‌های در سطح کارخانه را جمع‌بندی و تحلیل کرد. در این راه هم‌چنین از مدل‌سازی می‌توان برای پیش‌بینی و بهینه‌سازی نیز استفاده کرد. از جمله این روش‌ها و ابزارها می‌توان به تابعیت خطی چندگانه و شبکه‌های عصبی مصنوعی اشاره کرد.

هدف از انجام این پژوهش بررسی و مدل‌سازی چگونگی و میزان اثرگذاری چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن و پروتئین خام در اجزای خوراک و دمای حالت‌دهنده بر شاخص ماندگاری پلت، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت و انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک و ارزیابی توانایی دو مدل محاسباتی در پیش‌بینی انرژی الکتریکی مصرفی و کیفیت فیزیکی پلت با توجه به این عوامل مؤثر و هم‌چنین مقایسه مدل‌ها با یکدیگر می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

نمونه‌های موردآزمایش در این مطالعه متوازن شده (توسط نرم‌افزار *BESTMIX®*) برای جوجه‌های گوشتی (جیره‌ها بیش‌تر بر پایه ذرت– سویا و روغن گیاهی بودند) در دوره رشد می‌باشد که در کارخانه تولید مکمل و خوراک دام و طیور و آبزیان آریا دان رشد، واقع در شهرک صنعتی شکوهیه قم تولید شدند. برای یکنواختی در داده‌های این پژوهش، جیرهها در دوره رشد مورد آزمون قرار گرفت چون جیرههای مرحله اولیه به‌طور عمده به کرامبل تبدیل می‌شدند و بررسی خصوصیات فیزیکی آن‌ها متفاوت بود. این خوراک‌ها دارای سطوح یک، دو، سه و چهار درصد چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن و سطوح ۱۷/۵، ۱۸/۵، ۱۹/۵ و ۲۰/۵ درصد پروتئین خام بودند.

این سطوح غالباً در مطالعات به‌عنوان دامنه معمول در تنظیم جیره‌های اقتصادی جوجه‌های گوشتی با توجه به نیازمندی‌های تغذیه‌ای، راه‌کارهای مدیریتی و اهداف تولیدی مورداستفاده قرار می‌گیرند. اقلام خوراکی ابتدا در آسیاب چکشی با ۱۳۸ چکش و توری‌هایی با منافذی به قطر سه میلی‌متر آسیاب شدند. خوراک آسیاب‌شده در مخلوط‌کن افقی با ظرفیت ۲۵۰۰ کیلوگرم به‌مدت سه دقیقه مخلوط‌شدند. چربی مورداستفاده در این آزمایش روغن سویا بود و سطوح مختلف آن به‌صورت پاشش روی خوراک آسیاب‌شده پس از توزین در مخلوط‌کن افزوده شد. پس از اتمام پاشش روغن، سه دقیقه مخلوط‌کن عمل مخلوط‌کردن را انجام داد. حالت‌دهی خوراک به‌مدت ۱۵ ثانیه در سه دمای ۷۵، ۸۰ و ۸۵ درجه سانتی‌گراد و با فشار بخار دو بار (bar) انجام شد. سپس خوراک به مرحله پلت‌زنی منتقل شد. در این مرحله ضخامت قالب ۶۰ میلی‌متر و قطر سوراخ های قالب چهار میلی‌متر بود. در این آزمایش ۴۸۰ تن خوراک (۱۹۲ دسته ۲/۵ تنی) تولید شد. این آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۳×۴×۴ با چهار تکرار انجام شد.

پس از ساخت پلت در هر تکرار، میزان انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک با توجه به داده‌های ثبت‌شده توسط دستگاه سنجش میزان مصرف برق (E. Power monitor, GM809) نصب‌شده بر دستگاه پلت‌ساز ثبت شد. برای تعیین شاخص ماندگاری پلت و شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت از پلت‌های خنک‌شده در هر تکرار نمونه‌ای (به مقدار ۱۰۰۰ گرم) جدا شد. این نمونه‌گیری در هنگام بسته‌بندی محصول نهایی انجام شد به این صورت که از چند کیسه مختلف نمونه برداشته شد و همه با هم مخلوط‌شدند. مقدار ۵۰۰ گرم خوراک پلت الک‌شده در محفظه دستگاه کیفیت‌سنج پلت (Tyler Industrial Group, Mentor, USA) به ابعاد ۳۰/۵ در ۳۰/۵ سانتی‌متر ریخته شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه با شتاب ۵۰ دور در دقیقه به‌هم زده شد. سپس نمونه خوراک دوباره الک شد و مقدار شاخص ماندگاری پلت محاسبه شد. برای محاسبه مقدار شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت نیز از روشی مشابه استفاده شد با این تفاوت که یک مهره فلزی ۱۳ میلی‌متری در محفظه دستگاه کیفیت‌سنج پلت قرار گرفت [۱۱].

در مدل‌های آماری تابعیت، فرایندی آماری برای تخمین روابط بین متغیرها می‌باشد که رابطه بین متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل، هم‌چنین چگونگی تغییر مقدار متغیر وابسته با تغییر هرکدام از متغیرهای مستقل را نشان می‌دهد. رابطه خام آن به‌صورت زیر می‌باشد:

رابطه ۱)
$$\hat{y}_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i X_i + e_i,\ i = 1,2,..n$$

که در این رابطه، y_i، مقدار مورد iام متغیر کمی وابسته (انرژی الکتریکی مصرفی، شاخص ماندگاری پلت و شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت)؛ β_0، عرض از مبدأ یا ضریب ثابت؛ n، تعداد متغیرهای ورودی (n=3)؛ β_i، ضریب خطی بر متغیرiام؛ x_i، متغیرهای ورودی (چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن، پروتئین خام و دمای حالت‌دهنده)؛ e_i، خطای مشاهده‌شده در متغیر iام است.

مجموعه کل داده‌های آزمایشی بر روی معادله تابعیت خطی چندگانه با استفاده از رویه REG در نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۲) برازش شد [۱۵]. با استفاده از جدول آنالیز واریانس و مقادیر تی- محاسبه‌شده (T-value) برای هر متغیر، فرایند آنالیز حساسیت برای رتبه‌بندی متغیرها از نظر اهمیت بر خروجی مدل ساخته‌شده صورت گرفت. هرکدام از اجزا که دارای مقدار قدرمطلق T-value بیش‌تری بودند، اهمیت بیش‌تری در خروجی مدل دارند. ارزیابی کارایی مدل تابعیت خطی چندگانه به‌کمک معیارهایی از جمله ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، بررسی شد. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها، از مقدار R^2 به‌عنوان معیاری برای سنجش "دقت" و از مقادیر RMSE معمولاً برای نشان‌دادن "صحت" یک مدل استفاده می‌شود. بنابراین از ترکیب این دو معیار برای نتیجه‌گیری و یا مقایسه عملکرد کلی مدل‌ها استفاده شد [۴ و ۶].

نوشتن کد ریاضی برای توسعه و ارزیابی مدل شبکه عصبی مصنوعی، توسط نرم‌افزار Matlab (نسخه R۲۰۱۸b) انجام شد [۲۰]. برنامه توسعه‌یافته در واقع یک کد منبع اصلاح‌شده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی است که قبلاً توسط برخی پژوهش‌گران اعمال شده بود [۵]. برای ساخت مدل‌های شبکه عصبی از الگوریتم پس‌انتشار پیش‌خور (feedforward backpropagation) با ساختاری سه لایه (ورودی- میانی- خروجی) استفاده شد. توابع سیگموئید تانژانت هایپربولیک (tansig) و خطی (purelin) به‌عنوان تابع فعالیت به‌ترتیب در نرون‌های میانی و خروجی به‌کار گرفته شد. برای آموزش شبکه طراحی‌شده با داده‌های آموزشی، از الگوریتم لونبرگ- مارکوارت به‌همراه تابع آموزشی بایاس و مومنتوم استفاده شد [۶]. میانگین مربعات خطا در سطح ۰/۰۰۰۱ به‌عنوان تابع عملکرد در نظر گرفته شد و فرایند آموزش تا رسیدن به ۸۰۰ تکرار و یا رسیدن به میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۰۱ ادامه یافت. چهار متغیر ورودی مرتبط با سطوح مختلف چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن، پروتئین خام و دمای حالت‌دهنده به‌عنوان واحدهای لایه‌ی ورودی شبکه در نظر گرفته شدند. ۱۹۲ داده آزمایشی برای آموزش (training) و ارزیابی (validation) مدل شبکه عصبی استفاده شدند. این داده‌ها به‌صورت تصادفی به دو گروه آموزش ۱۳۴ (۷۰ درصد داده‌ها) و ارزیابی ۵۸ (۳۰ درصد داده‌ها) تقسیم شدند. البته قبل از شروع محاسبات، ماتریس داده های ورودی و خروجی در بازه (۱ و ۱-) نرمال شدند این کار به این دلیل صورت گرفت که مقادیر داده‌ها برای شبکه ساده‌سازی‌شده و همگرایی شبکه برای رسیدن به مدلی با کم‌ترین خطا سریع‌تر صورت گیرد [۶ و ۱۴].

آنالیز حساسیت برای پاسخ به این سؤال انجام گرفت که کدام متغیر ورودی در این آزمایش (چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن، پروتئین خام و دمای حالت‌دهنده) اثر بیش‌تری روی انرژی الکتریکی مصرفی، شاخص ماندگاری پلت و شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت (خروجی‌های مدل) دارد. هدف نهایی از به‌کارگیری آنالیز حساسیت، رتبه‌بندی متغیرهای ورودی از نظر میزان اثرگذاری آن‌ها بر خروجی سیستم مدل شده بود. آنالیز حساسیت مدل‌های شبکه عصبی براساس این تئوری پایه‌ریزی شده که در صورت حذف یک متغیر ورودی چه میزان خطای مدل نسبت به حالت پایه (مدل با حضور تمام متغیرهای ورودی) افزایش می‌یابد. این کار برای هر یک از ورودی‌ها به‌صورت جداگانه آزمون شده و نسبت خطای افزایش یافته در اثر حذف هر کدام از آن‌ها تعیین می‌شود. متغیر ورودی که بیش‌ترین نسبت خطا را ایجاد می‌کند مهم‌ترین ورودی است و خروجی مدل روی آن حساسیت بیش‌تری دارد. از دو معیار معمول که برای آنالیز

حساسیت مدل‌های شبکه عصبی به‌کار می‌رود که شامل خطای حساسیت متغیر (Variable Sensitivity Error; VSE) و نسبت حساسیت متغیر (Variable Sensitivity Ratio; VSR) می‌باشند، استفاده گردید [۵]. معیار خطای حساسیت متغیر برای هر متغیر، عملکرد (میزان خطای) مدل شبکه عصبی را در صورت حذف آن متغیر از شبکه نشان می‌دهد و معیار نسبت حساسیت متغیر به‌صورت نسبت بین خطای حساسیت متغیر و خطای پایه مدل با حضور تمام متغیرهای ورودی تعریف می‌شود، به‌طوری‌که میزان نسبت حساسیت متغیر و خطای حساسیت متغیر بالاتر برای یک متغیر ورودی نشان‌دهنده اهمیت بیش‌تر آن ورودی می‌باشد.

۳. نتایج

خلاصه‌ای از داده‌های جمع‌آوری‌شده از مقدار انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک، شاخص ماندگاری پلت و شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت در جدول (۱) گزارش شده است.

جدول ۱. میزان شاخص ماندگاری پلت، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت و انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک پس از تولید[1]

تیمار	MAF (درصد)	CP (درصد)	CT (درجه سانتی‌گراد)	PDI (درصد)	MPDI (درصد)	EC (کیلووات ساعت در تن)
۱	۱	۱۷/۵	۷۵	۷۲/۶۰	۷۰/۰۲	۷/۲۳
۲	۱	۱۷/۵	۸۰	۷۲/۲۷	۶۸/۳۸	۷/۳۲
۳	۱	۱۷/۵	۸۵	۷۱/۵۷	۶۸/۱۳	۷/۷۲
۴	۱	۱۸/۵	۷۵	۷۹/۳۲	۷۲/۳۸	۶/۷۱
۵	۱	۱۸/۵	۸۰	۸۱/۹۸	۸۱/۲۹	۷/۳۳
۶	۱	۱۸/۵	۸۵	۸۹/۷۰	۸۴/۰۳	۶/۹۱
۷	۱	۱۹/۵	۷۵	۸۲/۳۲	۷۶/۷۵	۶/۹۰
۸	۱	۱۹/۵	۸۰	۸۶/۱۹	۸۲/۶۶	۶/۸۰
۹	۱	۱۹/۵	۸۵	۸۷/۹۴	۸۶/۷۶	۶/۸۳
۱۰	۱	۲۰/۵	۷۵	۸۴/۰۹	۷۵/۶	۶/۴۳
۱۱	۱	۲۰/۵	۸۰	۸۸/۶۱	۸۱/۹۲	۶/۲۷
۱۲	۱	۲۰/۵	۸۵	۸۲/۰۳	۷۸/۰۷	۶/۷۸
۱۳	۲	۱۷/۵	۷۵	۶۹/۰۴	۶۵/۴۸	۷/۲۲
۱۴	۲	۱۷/۵	۸۰	۶۸/۳۶	۶۵/۸۸	۷/۵۰
۱۵	۲	۱۷/۵	۸۵	۶۸/۱۹	۶۵/۸۷	۶/۰۳
۱۶	۲	۱۸/۵	۷۵	۷۹/۴۹	۷۵/۱۴	۶/۱۸
۱۷	۲	۱۸/۵	۸۰	۸۳/۰۵	۷۷/۶۷	۶/۳۳
۱۸	۲	۱۸/۵	۸۵	۸۷/۷۱	۸۳/۸۵	۶/۲۱
۱۹	۲	۱۹/۵	۷۵	۸۳/۲۵	۷۵/۲۸	۷/۱۸
۲۰	۲	۱۹/۵	۸۰	۸۳/۸۸	۸۰/۸۵	۶/۲۹
۲۱	۲	۱۹/۵	۸۵	۸۷/۹۵	۸۶/۴۳	۶/۲۸
۲۲	۲	۲۰/۵	۷۵	۸۰/۸۱	۷۳/۵۷	۶/۷۲
۲۳	۲	۲۰/۵	۸۰	۸۳/۷۹	۷۸/۰۴	۶/۲۲
۲۴	۲	۲۰/۵	۸۵	۸۵/۳۳	۷۹/۹۳	۵/۷۲
۲۵	۳	۱۷/۵	۷۵	۶۶/۲۹	۶۲/۶۶	۷/۳۴
۲۶	۳	۱۷/۵	۸۰	۶۴/۳۴	۵۸/۲۳	۶/۸۴
۲۷	۳	۱۷/۵	۸۵	۶۰/۲۱	۵۴/۹۶	۶/۲۳
۲۸	۳	۱۸/۵	۷۵	۷۲/۷۳	۶۶/۷۳	۶/۷۹
۲۹	۳	۱۸/۵	۸۰	۸۰/۶۸	۶۹/۶۱	۶/۴۴
۳۰	۳	۱۸/۵	۸۵	۸۰/۹۵	۷۵/۶	۵/۷۶
۳۱	۳	۱۹/۵	۷۵	۷۷/۷۹	۶۸/۲۶	۶/۶۶
۳۲	۳	۱۹/۵	۸۰	۷۹/۱۰	۷۲/۳۱	۶/۰۵
۳۳	۳	۱۹/۵	۸۵	۸۲/۱۴	۷۸/۴۷	۵/۹۷

ادامه جدول ۱. میزان شاخص ماندگاری پلت، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت و انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک پس از تولید[۱]

تیمار	MAF (درصد)	CP (درصد)	CT (درجه سانتی‌گراد)	PDI (درصد)	MPDI (درصد)	EC (کیلووات ساعت در تن)
۳۴	۳	۲۰/۵	۷۵	۸۰/۸۸	۷۳/۹۴	۶/۳۹
۳۵	۳	۲۰/۵	۸۰	۷۹/۴۲	۷۱/۶۹	۵/۸۹
۳۶	۳	۲۰/۵	۸۵	۸۰/۵۲	۷۵/۱۶	۶/۱۰
۳۷	۴	۱۷/۵	۷۵	۵۸/۱۴	۴۸/۰۹	۵/۸۹
۳۸	۴	۱۷/۵	۸۰	۵۹/۴۲	۵۲/۴۰	۶/۴۹
۳۹	۴	۱۷/۵	۸۵	۶۲/۰۳	۵۳/۶۷	۵/۵۱
۴۰	۴	۱۸/۵	۷۵	۶۷/۰۳	۵۶/۸۶	۵/۹۹
۴۱	۴	۱۸/۵	۸۰	۷۱/۲۶	۶۲/۸۷	۵/۴۶
۴۲	۴	۱۸/۵	۸۵	۷۳/۹۶	۶۶/۶۹	۵/۱۶
۴۳	۴	۱۹/۵	۷۵	۶۸/۰۵	۵۶/۹۹	۶/۴۸
۴۴	۴	۱۹/۵	۸۰	۶۷/۸۵	۶۰/۶۴	۵/۹۶
۴۵	۴	۱۹/۵	۸۵	۷۸/۳۶	۷۲/۴۸	۵/۱۷
۴۶	۴	۲۰/۵	۷۵	۷۳/۵۸	۶۵/۹	۵/۵۲
۴۷	۴	۲۰/۵	۸۰	۷۷/۲۲	۶۸/۶۵	۵/۳۵
۴۸	۴	۲۰/۵	۸۵	۷۹/۵۰	۷۲/۹۷	۵/۱۸

۱. MAF: چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن؛ CP: پروتئین خام؛ CT: دمای حالت‌دهنده؛ PDI: شاخص ماندگاری پلت؛ MPDI: شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت (PDI تصحیح‌شده)؛ EC: انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک. هرکدام از مقادیر ارائه‌شده در جدول شامل میانگین چهار تکرار می‌باشد.

در محاسبات تابعیت خطی چندگانه نشان داده شد که اثر ورودی‌ها (چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن، پروتئین خام و دمای حالت‌دهنده) بر انرژی الکتریکی مصرفی، شاخص ماندگاری پلت و شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) هستند. مدل تابعیت خطی چندگانه محاسبه‌شده برای شاخص ماندگاری پلت در (رابطه ۲)، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت در رابطه (۳) و انرژی الکتریکی مصرفی در رابطه (۴) بیان شده است. هم‌چنین محاسبات مربوط به T-value در جدول (۲) گزارش شده است. با توجه به جدول (۲) پروتئین خام بیش‌ترین و دمای حالت‌دهنده کم‌ترین اثر را بر شاخص ماندگاری پلت دارند. میزان اثر ورودی‌ها بر شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت از بیش‌تر به کم‌تر به‌ترتیب توسط چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن، پروتئین خام و دمای حالت‌دهنده اعمال شده است. چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن بیش‌ترین اثر را بر انرژی الکتریکی مصرفی دارد. چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن با شاخص ماندگاری پلت و شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت رابطه عکس دارد. هم‌چنین رابطه هر سه متغیر موردبررسی با انرژی الکتریکی مصرفی نیز به‌صورت معکوس است.

$$PDI = -34.37 - 4.020\ MAF + 4.724\ CP + 0.3918\ CT$$ رابطه ۲)

$$MPDI = -46.2 - 5.364\ MAF + 4.252\ CP + 0.6213\ CT$$ رابطه ۳)

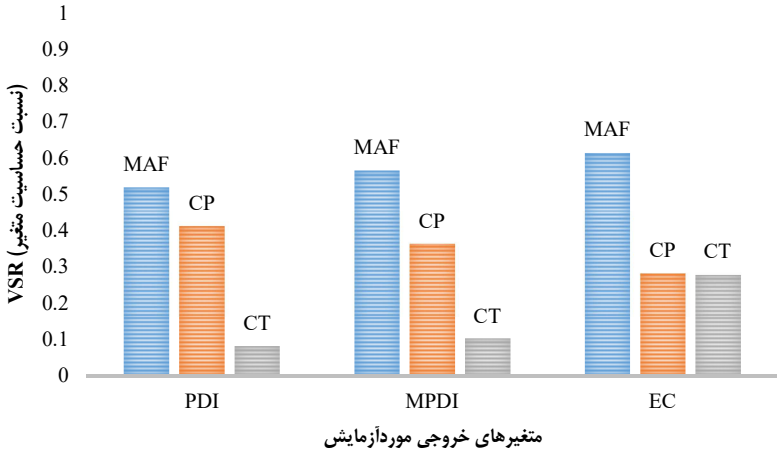
$$EC = 15.343 - 0.3891\ MAF - 0.2083\ CP - 0.05055\ CT$$ رابطه ۴)

جدول ۲. T-value محاسبه‌شده از طریق تابعیت خطی چندگانه[۱]

	PDI(درصد)		MPDI(درصد)		EC(کیلووات ساعت بر تن)	
	T-value	P-value	T-value	P-value	T-value	P-value
MAF (درصد)	−۱۲/۷۴	<۰/۰۵	−۱۴/۸	<۰/۰۵	−۱۳/۷۸	<۰/۰۵
CP (درصد)	۱۴/۹۷	<۰/۰۵	۱۱/۷۳	<۰/۰۵	−۷/۳۷	<۰/۰۵
CT (درجه سانتی‌گراد)	۴/۵۳	<۰/۰۵	۶/۲۶	<۰/۰۵	−۶/۵۴	<۰/۰۵

۱. MAF: چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن؛ CP: پروتئین خام؛ CT: دمای حالت‌دهنده؛ PDI: شاخص ماندگاری پلت؛ MPDI: شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت؛ EC: انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک؛ T-value: تی–محاسبه‌شده برای رتبه‌بندی اثرگذاری متغیرهای ورودی.

میزان اثر متغیرهای ورودی بر خروجی‌ها که توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی محاسبه‌شده در شکل (۱) به‌صورت نمودار مقایسه‌ای نشان داده شده است. با توجه به نسبت حساسیت به‌دست‌آمده برای هر متغیر، بیش‌ترین نسبت حساسیت برای شاخص ماندگاری پلت، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت و انرژی الکتریکی مصرفی مربوط به چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن می‌باشد. براساس این نمودار، پس از چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن، پروتئین خام بیش‌ترین اثر را بر شاخص‌های ماندگاری پلت دارد.



شکل ۱. میزان حساسیت متغیرها (VSR) برای شاخص ماندگاری پلت (PDI، درصد)، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت (MPDI، درصد) و انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک (EC، کیلووات ساعت بر تن) نسبت به چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن (MAF، درصد)، پروتئین خام (CP، درصد) و دمای حالت‌دهنده (CT، درجه سانتی‌گراد)

مقادیر R^2 و RMSE محاسبه شده مربوط به دو مدل استفاده‌شده در این پژوهش (تابعیت خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی) در جدول (۳) گزارش شده است. با توجه به این‌که با افزایش R^2، دقت و با کاهش RMSE، صحت مدل افزایش می‌یابد؛ جدول (۳) نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی مدل بهتری نسبت به مدل تابعیت خطی چندگانه می‌باشد.

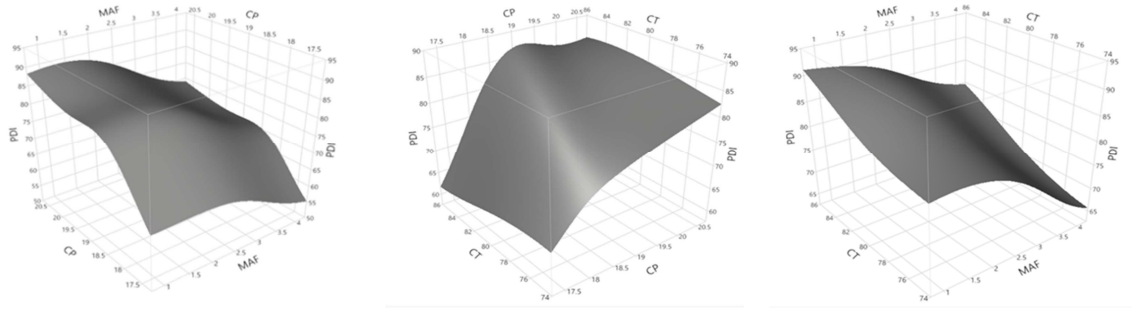
جدول ۳. کارایی مدل‌های تابعیت خطی چندگانه (MLR) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN)[1]

	PDI(درصد)			MPDI*(درصد)			EC*(کیلووات ساعت بر تن)		
	MLR	ANN		MLR	ANN		MLR	ANN	
		Training	Validation		Training	Validation		Training	Validation
R^2	۰/۶۸۴	۰/۸۸۹	۰/۹۰۵	۰/۶۷۸	۰/۸۷۴	۰/۸۸۶	۰/۶۰۴	۰/۷۷۷	۰/۷۷۶
RMSE	۴/۸۹	۳/۱۷	۲/۸۳	۵/۶۲	۳/۶۴	۳/۶۹	۰/۴۴	۰/۳۵	۰/۳۶
تعداد نرون در لایه میانی	۵			۵			۷		

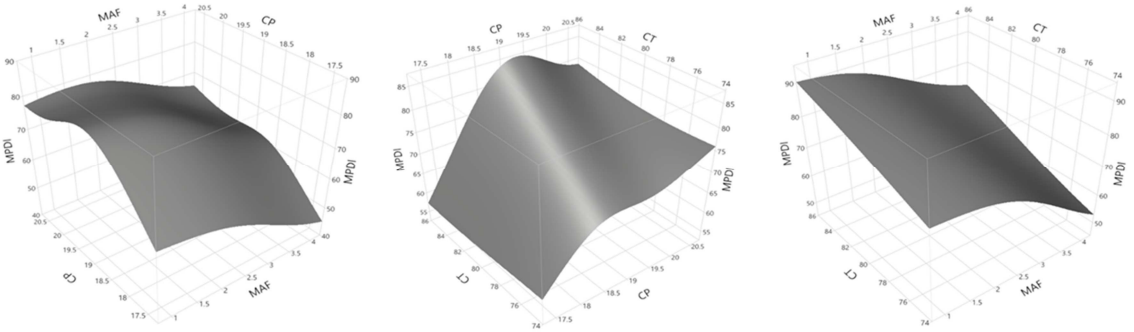
۱. PDI: شاخص ماندگاری پلت؛ MPDI: شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت؛ EC: انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک؛ MLR: تابعیت خطی چندگانه؛ ANN: شبکه عصبی مصنوعی؛ Training: آموزش مدل شبکه عصبی مصنوعی؛ Validation: ارزیابی مدل شبکه عصبی مصنوعی.

براساس مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌دست‌آمده، نمودار پاسخ شاخص ماندگاری پلت در شکل (۲)، نمودار پاسخ شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت در شکل (۳) و نمودار پاسخ انرژی الکتریکی مصرفی در شکل (۴) به سطوح مختلف چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن، پروتئین خام و دمای حالت‌دهنده گزارش شده است. از این نمودارها می‌توان دریافت که با افزایش دمای حالت‌دهنده، میزان شاخص‌های ماندگاری پلت افزایش داشته اما میزان انرژی الکتریکی مصرفی کاهش می‌یابد. افزایش

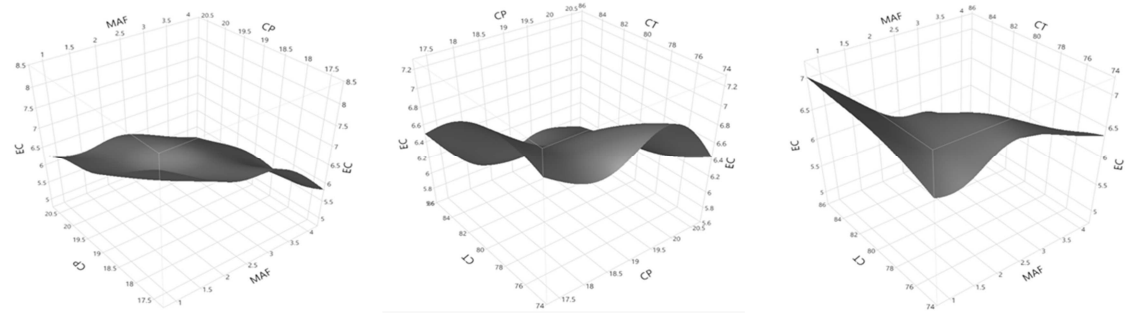
چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن باعث می‌شود مقدار شاخص‌های ماندگاری پلت و انرژی الکتریکی مصرفی کاهش یابد. افزایش پروتئین خام، مقدار شاخص‌های ماندگاری پلت را افزایش و میزان انرژی الکتریکی مصرفی را کاهش می‌دهد.



شکل ۲. نمودار پاسخ شاخص ماندگاری پلت (PDI، درصد) به سطوح مختلف چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن (MAF، درصد)، پروتئین خام (CP، درصد) و دمای حالت‌دهنده (CT، درجه سانتی‌گراد)



شکل ۳. نمودار پاسخ شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت (MPDI، درصد) به سطوح مختلف چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن (MAF، درصد)، پروتئین خام (CP، درصد) و دمای حالت‌دهنده (CT، درجه سانتی‌گراد)



شکل ٤. نمودار پاسخ انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک (EC، کیلووات ساعت بر تن) به سطوح مختلف چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن (MAF، درصد)، پروتئین خام (CP، درصد) و دمای حالت‌دهنده (CT، درجه سانتی‌گراد)

با توجه به دقت و صحت روش شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش تابعیت خطی چندگانه در مدل‌سازی، محاسبه مقادیر بهینه‌ی ورودی‌ها برای دستیابی به بهترین میزان خروجی‌ها با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. همان‌طور که در جدول (۴) قابل‌ملاحظه است، بیشینه مقدار شاخص‌های ماندگاری پلت باتوجه به مقادیر موردآزمایش

متغیرهای ورودی در این محاسبات حدود ۹۰ درصد و کمینه مقدار انرژی الکتریکی مصرفی نیز حدود پنج کیلووات ساعت بر تن به‌دست آمده است. میزان بهینه‌ی مؤلفه‌های ورودی برای رسیدن به این مقادیر در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ٤. مقادیر بهینه چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن، پروتئین خام و دمای حالت‌دهنده برای دستیابی به بهترین میزان شاخص ماندگاری پلت، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت و انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک[1]

متغیرهای خروجی	متغیرهای ورودی			متغیر خروجی پیش‌بینی‌شده در نقطه بهینه
	MAF(درصد)	CP(درصد)	CT(درجه سانتی‌گراد)	
PDI	۱/۲۹	۲۰/۵	۸۵	بیش‌ترین = ۹۰/۲۱
MPDI	۱	۱۹/۶۴	۸۵	بیش‌ترین = ۸۹/۶۶
EC	۴	۲۰/۵	۸۵	کم‌ترین = ۵/۱۹

۱. MAF: چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن؛ CP: پروتئین خام؛ CT: دمای حالت‌دهنده؛ PDI: شاخص ماندگاری پلت؛ MPDI: شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت؛ EC: انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک.

۴. بحث

نتایج در این پژوهش نشان داد که افزایش چربی افزوده‌شده در میکسر، باعث کاهش کیفیت فیزیکی پلت و کاهش انرژی الکتریکی مصرفی می‌شود. ذرات خوراک برای اتصال به‌هم به بخار آب نیاز دارند؛ چربی با خاصیت آبگریزی خود ممکن است در اتصال ذرات محلول خوراک تداخل ایجاد کند که باعث کاهش مقاومت پلت و کیفیت فیزیکی آن می‌شود. چربی به‌عنوان روان‌کننده عمل می‌کند و اصطکاک بین خوراک و قالب سوراخ را کاهش می‌دهد که باعث کاهش فشار و تسریع عبور خوراک از قالب سوراخ می‌شود. کاهش فشار و تسریع عبور خوراک از قالب سوراخ باعث می‌شود فشردگی خوراک در قالب سوراخ کاهش یابد و افت کیفیت فیزیکی خوراک را در پیش دارد. کاهش اصطکاک بین خوراک و قالب سوراخ و هم‌چنین، کاهش فشار و زمان موردنیاز برای ساخت پلت باعث کاهش انرژی الکتریکی مصرفی در کارخانه می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های دیگر که در ادامه به آن اشاره می‌شود، مشابه بود. با توجه به ارزیابی اقتصادی جیره‌های جوجه‌های گوشتی در مطالعات برخی پژوهش‌گران، دستیابی به میزان مطلوب شاخص ماندگاری پلت فقط با ۱/۵ درصد چربی در خوراک امکان‌پذیر است. این پژوهش‌گران سطح روغن سویا و پودر چربی کلسیمی را از ۱/۵ به سه درصد افزایش دادند و مشاهده کردند که کیفیت فیزیکی پلت به‌ترتیب ۱۲ و ۱۵ درصد کاهش یافت [۱]. پژوهشی دیگر نشان داد که افزایش چربی افزوده شده در مخلوط‌کن از یک به ۲/۱۸ درصد باعث کاهش کیفیت فیزیکی پلت و انرژی الکتریکی مصرفی شده است [۱۷]. در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد برای دستیابی به خوراک پلت با کیفیت فیزیکی مناسب بهتر است مقدار چربی حدود پنج تا ۱۰ گرم در هر کیلوگرم خوراک باشد. هم‌چنین در پژوهش مذکور مشخص شده با افزایش چربی میزان انرژی الکتریکی مصرفی برای تولید خوراک کاهش می‌یابد [۱۲]. به‌علاوه، کاهش کیفیت پلت فقط درصورت افزایش چربی افزوده‌شده در میکسر اتفاق می‌افتد و با اضافه‌شدن چربی موجود در درون ساختار اقلام خوراکی و کاهش چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن کیفیت فیزیکی پلت افزایش می‌یابد [۱۰].

نتایج پژوهش حاضر نشان داد با افزایش پروتئین خام در خوراک، کیفیت فیزیکی خوراک افزایش و انرژی الکتریکی مصرفی کاهش می‌یابد. پروتئین می‌تواند به‌عنوان عامل اتصال بین ذرات خوراک برای ساخت پلت استفاده شود. فرایندهایی که هنگام تولید خوراک پلت انجام می‌شوند باعث تغییر ساختار پروتئین (Denaturation) موجود در خوراک می‌شود. پروتئین‌های تغییر ساختار یافته پس از خنک‌شدن خوراک دوباره به هم متصل می‌شوند و باعث اتصال سایر

اجزای خوراک می‌شوند، در نتیجه کیفیت خوراک پلت افزایش می‌یابد [۲]. در توافق با نتایج این مطالعه، نشان داده شد که با افزایش ۳/۸۷ درصدی پروتئین خوراک در جیره استارتر و رشد بر پایه ذرت- سویا که با دمای ۸۲ درجه سانتی‌گراد حالت‌دهنده فرآوری شده بود، شاخص ماندگاری پلت ۷/۵ درصد و شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت ۱۱/۷۶ درصد افزایش یافته بود [۹]. هم‌چنین، پژوهش‌گران دو جیره آغازین و رشد را موردبررسی قرار دادند و مشخص شد که با افزایش پروتئین خوراک، انرژی الکتریکی مصرفی کاهش می‌یابد، این تغییرات در جیره‌ی رشد معنی‌دار نبود [۸].

همان‌طورکه در نتایج مشاهده می‌شود، افزایش دمای حالت‌دهنده باعث افزایش کیفیت خوراک و کاهش انرژی الکتریکی مصرفی می‌شود. افزایش دمای حالت‌دهنده باعث افزایش ژلاتینه‌شدن (Gelatinization) نشاسته می‌شود، تشکیل ژل نشاسته باعث افزایش در چسبندگی بین ذرات می‌شود که این امر افزایش کیفیت فیزیکی خوراک پلت را در پیش دارد [۲]. هم‌چنین، با افزایش حرارت مرطوب در حالت‌دهنده باعث روان‌سازی و تسهیل عبور خوراک در قالب می‌شود، بنابراین انرژی الکتریکی مصرفی در هنگام تولید را کاهش می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با دیگر پژوهش‌ها که بیان کردند ماندگاری و سختی پلت با دمای حالت‌دهنده رابطه مستقیم دارد مطابقت دارد [۲۱]. هم‌چنین پژوهش‌گران با افزایش دمای حالت‌دهنده از ۸۲/۲ درجه سانتی‌گراد به ۸۷/۸ درجه سانتی‌گراد، مشاهده کردند که سرعت تولید پلت بهبود و کیفیت فیزیکی پلت افزایش یافت [۲۳]. در مطالعه‌ای با افزایش دمای حالت‌دهنده از ۷۷ به ۸۸ درجه سانتی‌گراد مشخص شد شاخص ماندگاری پلت در خوراک دوره رشد و پایانی به‌ترتیب تقریباً ۱۰ و هشت درصد افزایش یافت [۲۲]. در پژوهشی نشان داده شد هنگامی‌که دمای حالت‌دهنده از ۷۴ به ۹۶ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد، انرژی الکتریکی مصرفی را کاهش و کیفیت فیزیکی پلت (PDI) را افزایش می‌دهد [۱۷]. هم‌چنین گزارش شد که افزایش دمای حالت‌دهنده از ۶۵ به ۸۵ درجه سانتی‌گراد تقریباً ۳ کیلووات ساعت در تن انرژی الکتریکی مصرفی را کاهش داد [۱۲]. البته باید توجه شود که برای جلوگیری از اثرات منفی دمای بالا بر روی ارزش غذایی جیره در طی فرایند ساخت خوراک، دمای کاندیشنر در تولید خوراک پلت برای در دامنه ۷۵ تا ۸۵ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد شده است [۲۱].

ارزیابی مدل‌های ساخته‌شده برای شاخص ماندگاری پلت، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت و انرژی الکتریکی مصرفی که توسط معیارهای R^2 و RMSE در جدول (۳) انجام شد، نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی دقت و صحت بیش‌تری نسبت به مدل تابعیت خطی چندگانه دارد. مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند به‌دلیل انعطاف‌پذیری بیش‌تر نسبت به مدل تابعیت خطی چندگانه، عملکرد بهتری داشته باشد. انواع مختلف مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی در تناسب توابع و تشخیص الگوها در انواع مختلف داده‌ها خوب عمل می‌کند. در واقع استفاده از یک مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبتاً ساده می‌تواند متناسب با بسیاری از توابع کاربردی باشد. پژوهش‌گران معتقدند که برای ساخت یک مدل کاربردی به روش شبکه عصبی مصنوعی تعداد نمونه‌های بیش‌تری نسبت به روش تابعیت خطی چندگانه نیاز است، اما برای ساخت مدل شبکه عصبی مصنوعی با وجود مجموعه داده‌های کافی و داده‌هایی که از نظر آماری به‌خوبی در دامنه ورودی توزیع شوند، می‌توان مدلی کاربردی و خوب ساخت [۶]. مزیت اصلی شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با تابعیت خطی چندگانه، استفاده از آن برای توابع غیرخطی از جمله توابع درجه دوم و سیگموئیدی می‌باشد، درحالی‌که تابعیت خطی چندگانه فقط برای تخمین توابع خطی مفید است [۶ و ۱۴].

با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در بسیاری از پژوهش‌ها، مدل‌هایی ساخته می‌شود که پیش‌بینی جامع و دقیقی از متغیر(های) خروجی ارائه می‌دهند. مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند با استفاده از داده‌های مربوط به فرایند ارزیابی که در فرایند آموزش استفاده‌نشده به‌طور مطلوبی (R^2_{PDI} =۹۰/۵۰, R^2_{MPDI} = ۸۸/۵۷, R^2_{EC} = ۶۹/۶۱)، مقدار شاخص ماندگاری پلت، شاخص تصحیح‌شده ماندگاری پلت و انرژی الکتریکی مصرفی را پیش‌بینی کند. علاوه‌بر این،

مدل‌های فرایند آموزش دارای مقادیر آماری نسبتاً متعادلی برای هر دو زیرمجموعه آموزش و ارزیابی بودند (جدول ۳)، این امر به این دلیل است که خطای آموزش شبکه (Overlearning) طی فرایند آموزش رخ نداده است و مدل‌ها وقتی با داده‌های کاملاً جدید ارزیابی می‌شوند به‌خوبی قابل تعمیم می‌باشند [۲۰]. طبق محاسبات انجام‌شده نقاط بهینه چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن یک تا ۱/۳ درصد، پروتئین خام ۲۰ تا ۲۰/۵ درصد و دمای حالت‌دهنده ۸۵ درجه سانتی‌گراد، برای دستیابی به بیش‌ترین مقدار ممکن کیفیت فیزیکی خوراک پلت می‌باشد. هم‌چنین برای رسیدن به کم‌ترین مقدار ممکن انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک بهترین میزان چربی افزوده‌شده در مخلوط‌کن چهار درصد، پروتئین خام ۲۰/۵ درصد و دمای حالت‌دهنده ۸۵ درجه سانتی‌گراد است.

جمع‌بندی نتایج این پژوهش، اثرات چربی و پروتئین به‌عنوان اجزای خوراک و دمای کاندیشنر به‌عنوان بخشی از فرایند تولید بر کیفیت فیزیکی پلت و انرژی الکتریکی مصرفی هنگام تولید خوراک پلت را نشان داد. استفاده از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بازده تولید خوراک کارخانه روشی مؤثر محسوب می‌شود. به همین جهت این مدل در شرایط کاربردی می‌تواند در پیش‌بینی دقیق مصرف انرژی و کیفیت خوراک تولیدشده به‌منظور دستیابی به وضعیت مطلوب در کارخانه‌های تولید خوراک کمک کند.

۵. تشکر و قدردانی

از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس در انجام پروژه و هم‌چنین از داوران محترم که در فرایند داوری به بهبود ارائه این مطالعه کمک شایانی نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

1. Abadi MHMG, Moravej H, Shivazad M, Torshizi MAK and Kim WK (2019) Effect of different types and levels of fat addition and pellet binders on physical pellet quality of broiler feeds. Poultry science, 98(10): 4745-4754.
2. Abdollahi M, Ravindran V and Svihus B (2013) Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. Animal Feed Science and Technology, 179(1-4): 1-23.
3. Abdollahi MR, Zaefarian F and Ravindran V (2019) Maximising the benefits of pelleting diets for modern broilers. Animal Production Science, 59(11): 2023-2028.
4. Ahmadi H (2017) A mathematical function for the description of nutrient-response curve. Plos one, 12(11): e0187292.
5. Ahmadi H and Golian A (2010) The integration of broiler chicken threonine responses data into neural network models. Poultry science, 89(11): 2535-41.
6. Ahmadi H and Rodehutscord M (2017) Application of artificial neural network and support vector machines in predicting metabolizable energy in compound feeds for pigs. Frontiers in nutrition, 4 27.
7. Ayoola OA (2020) Influence of the animal feed binders on optimal nutritional and physical qualities of the animal feed pellets and feed production capacity-A literature review. Norwegian University of Life Sciences, Ås.

8. Buchanan N, Lilly K, Gehring C and Moritz J (2010) The effects of altering diet formulation and manufacturing technique on pellet quality. Journal of Applied Poultry Research, 19(2): 112-120.
9. Buchanan N and Moritz J (2009) Main effects and interactions of varying formulation protein, fiber, and moisture on feed manufacture and pellet quality. Journal of Applied Poultry Research, 18(2): 274-283.
10. Catalá-Gregori P, García V, Madrid J, Orengo J and Hernández F (2009) Inclusion of dried bakery product in high fat broiler diets: effect on pellet quality, performance, nutrient digestibility and organ weights. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 22(5): 686-693.
11. Cubes P Crumbles-Definitions and Methods for Determining Density, Durability and Moisture Content. ASAE Standards S, 269.
12. Fahrenholz AC (2012) Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability: Kansas State University.
13. Glover B, Foltz K, Holásková I and Moritz J (2016) Effects of modest improvements in pellet quality and experiment pen size on broiler chicken performance. Journal of Applied Poultry Research, 25(1): 21-28.
14. Gulati T, Chakrabarti M, Sing A, Duvuuri M and Banerjee R (2010) Usporedno ispitivanje metode odzivnih površina, umjetne neuralne mreže i genetskog algoritma radi optimiranja hidratacije zrna soje. Food Technology and Biotechnology, 48(1): 11-18.
15. InstituteInc S (1982) SAS/STAT User's Guide: SAS Institute Inc. Cary, North Carolina.
16. LOAR II R and Corzo A (2011) Effects of feed formulation on feed manufacturing and pellet quality characteristics of poultry diets. World's Poultry Science Journal, 67(1): 19-28.
17. Loar II R, Wamsley K, Evans A, Moritz J and Corzo A (2014) Effects of varying conditioning temperature and mixer-added fat on feed manufacturing efficiency, 28-to 42-day broiler performance, early skeletal effect, and true amino acid digestibility. Journal of Applied Poultry Research, 23(3): 444-455.
18. Lou W and Nakai S (2001) Artificial neural network-based predictive model for bacterial growth in a simulated medium of modified-atmosphere-packed cooked meat products. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49(4): 1799-1804.
19. Massuquetto A, Durau J, Schramm V, Netto MT, Krabbe E and Maiorka A (2018) Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. Journal of Applied Poultry Research, 27(1): 51-58.
20. MATLAB V (2018) 9.0. 0.341360 (R2018b). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
21. Netto MT, Massuquetto A, Krabbe E, Surek D, Oliveira S and Maiorka A (2019) Effect of conditioning temperature on pellet quality, diet digestibility, and broiler performance. Journal of Applied Poultry Research, 28(4): 963-973.
22. Rueda M, Rubio A, Starkey C, Mussini F and Pacheco W (2022) Effect of conditioning temperature on pellet quality, performance, nutrient digestibility, and processing yield of broilers. Journal of Applied Poultry Research, 31(2): 100235.
23. Tillman N, Jones M and Pacheco W (2020) Influence of feed ingredients, conditioning temperature, and a dacitic tuff breccia (AZOMITE) on pellet production rate and pellet quality. Journal of Applied Poultry Research, 29(1): 162-170.
24. Zohair GA, Al-Maktari GA and Amer MM (2012) A comparative effect of mash and pellet feed on broiler performance and ascites at high altitude (field study). Global Veterinaria, 9(2): 154-159.