



Investigating mineral affecting alkaline phosphatase activity and feed efficiency of broiler chickens using meta analytical and machine learning approaches

Fatemeh Abdipour¹, Hamed Ahmadi², Mohammad Amir Karimi Torshizi³,
Alireza Eivakpour³

1. Department of Poultry Science, Faculty of Agriculture Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: Fatemeh.Abdipour7@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Poultry Science, Faculty of Agriculture Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: hamed.ahmadi@modares.ac.ir
3. Department of Poultry Science, Faculty of Agriculture Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: karimitm@modares.ac.ir
4. Department of Poultry Science, Faculty of Agriculture Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: alirezaeivakpour@modares.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	<p>This study aims to develop two separate models to predict serum alkaline phosphatase (ALP) activity in broiler chickens based on dietary mineral intake and to forecast feed conversion ratio (FCR) based on their mineral intake and serum ALP activity. A meta-analysis method was employed to aggregate data from 29 articles spanning years 1998 to 2020. This resulted in a dataset of 185 rows containing variables such as serum ALP activity, calcium, phosphorus, zinc of the diet, and FCR in broiler chickens. Machine learning techniques, specifically artificial neural network models (ANN), were utilized for data analysis and predictive modeling. The ANN demonstrated high accuracy in predicting ALP activity and FCR, achieving R² values of 97% and 95%, respectively. Sensitivity analysis revealed that serum ALP activity is more responsive to changes in calcium, whereas FCR is more sensitive to changes in zinc. Furthermore, through optimization of the ANN model, the minimum attainable FCR was found to be 1.41. This corresponded to ALP activity of 1190 U/L, and daily intake of zinc of 11.21 mg, phosphorus of 0.46 g, and calcium of 0.70 g. These findings provide insights into optimizing broiler chicken nutrition for improved performance. The developed model not only accurately predicts ALP activity and FCR in broiler chickens but also enhances broiler breeding by offering an easy-to-use tool for optimizing mineral intake and accurately predicting bird performance. To facilitate accessibility for readers and nutritionists, an Excel® calculator was created for predicting ALP activity and FCR in broilers using the developed ANN.</p>
Article history: Received: 30 November 2023 Received in revised form: 27 June 2024 Accepted: 29 June 2024 Published online: Spring 2025	
Keywords: <i>alkaline phosphatase, broilers, feed efficiency, machine learning, meta-analytical.</i>	

Cite this article: Abdipour, F., Ahmadi, H., Karimi Torshizi, M. A. & Eivakpour, A. R. (2025). Investigating mineral affecting alkaline phosphatase activity and feed efficiency of broiler chickens using meta analytical and machine learning approaches. *Iranian Journal of Animal Science*, 56 (1), 193-211. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2024.368959.653980>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2024.368959.653980>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Broiler metabolism relies heavily on various enzymes present in their plasma. Any alterations in these enzymes can significantly impact broiler performance. Alkaline phosphatase (ALP) is a vital enzyme found in broiler blood serum, with four isoenzymes expressed in different tissues including intestines, placenta, and nonspecific tissues like liver, bone, and kidney. This study aims to explore the relationship between ALP enzyme activity, mineral consumption, and feed conversion ratio in broiler chickens through meta-analysis.

Materials and methods

Data collection involved a systematic search from diverse sources without language restrictions, focusing on indexed publications between 1998 and 2020 presenting in vivo experimental results on broilers. Key search terms included blood serum ALP, broiler mineral intake, feed conversion, and feed efficiency. A total of 29 articles encompassing 11,392 broiler chickens were included, yielding a dataset of 185 rows of information. Variables included ALP activity (U/L), daily mineral intake (calcium, phosphorus, and zinc), and feed efficiency at 42 days. Artificial neural network (ANN) models were constructed using JMP PRO version 14 software, with one model incorporating all four input parameters and another with only mineral intake variables.

Results

Employing two ANN models significantly enhanced prediction accuracy, achieving R2 values of 97% and 95% for ALP activity and feed conversion ratio, respectively. Sensitivity analysis underscored calcium and FCR as more responsive to ALP activity changes compared to zinc levels. Further optimization of the ANN model revealed the minimum attainable feed conversion ratio (FCR) to be 1.41 g/g. This corresponded to an ALP activity of 1190 U/L, with daily intake levels of zinc at 11.21 mg, phosphorus at 0.46 g, and calcium at 0.70 g. These findings offer insights into optimizing broiler nutrition for enhanced performance. The developed model facilitates optimized broiler breeding by predicting performance based on mineral intake, offering a user-friendly Excel® calculator for easy implementation by readers and nutritionists.

Conclusion

The established model provides a precise estimation of feed conversion ratio and serum ALP activity in broiler chickens, enhancing breeding practices and performance prediction accuracy.

Author Contributions

For research articles with several authors, a short paragraph specifying their individual contributions must be provided. The following statements should be used “Conceptualization, X.X. and Y.Y.; methodology, X.X.; software, X.X.; validation, X.X., Y.Y. and Z.Z.; formal analysis, X.X.; investigation, X.X.; resources, X.X.; data curation, X.X.; writing—original draft preparation, X.X.; writing—review and editing, X.X.; visualization, X.X.; supervision, X.X.; project administration, X.X.; funding acquisition, Y.Y. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.” Please turn to the [CRediT](#) taxonomy for the term explanation. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work re-ported.

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

In this section, please provide details regarding where data supporting reported results can be found, including links to publicly archived datasets analyzed or generated during the study (see [examples](#)). Data available on request from the authors.

If the study did not report any data, you might add “Not applicable” here.

Acknowledgements

The *Acknowledgements* section should be a few sentences at the end, but it is important to recognize those people (organizations and individuals) who made considerable impact on the research, provided *significant* help to the author to formulate and complete the experiment, and improved the research at any stage (from providing access to equipment or field sites to editing the manuscript). However, this is an optional section.

In this section, you can acknowledge any support given which is not covered by the author contribution or funding sections. This may include administrative and technical support, or donations in kind (e.g., materials used for experiments).

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The study was approved by the Ethics Committee of the University of ABCD (Ethical code: IR.UT.RES.2024.500). The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.



بررسی مواد معدنی موثر بر فعالیت آنزیمی آلکالین فسفاتاز و بازدهی خوراک جوجه‌های گوشتی با استفاده از روش‌های متاآنالیز و آموزش ماشین

فاطمه عبدی پور^۱ | حامد احمدی^{۲*} | محمدمیر کریمی ترشیزی^۳ | علیرضا ایوک پور^۴

۱. گروه علوم دام و طیور، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: Fatemeh.Abdipour7@gmail.com

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

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

۴. گروه علوم دام و طیور، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: alirezaeivakpour@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله:</p> <p>مقاله پژوهشی</p>	<p>این مطالعه با هدف توسعه دو مدل مجزا برای پیش بینی فعالیت آلکالین فسفاتاز سرم (ALP) در جوجه‌های گوشتی بر اساس مصرف مواد معدنی در جیره و پیش‌بینی ضریب تبدیل خوراک بر اساس مصرف مواد معدنی و فعالیت ALP سرم آنها انجام شده است. برای گردآوری داده‌ها از ۲۹ مقاله منتشر شده بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۰ از روش متاآنالیز استفاده شد. این روش منجر به ایجاد مجموعه داده‌ای با ۱۸۵ ردیف حاوی متغیرهایی مانند فعالیت ALP سرم، کلسیم، فسفر، روی و ضریب تبدیل خوراک در جوجه‌های گوشتی شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و ایجاد مدل‌های پیش‌بینی، از تکنیک‌های یادگیری ماشین، به ویژه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شد. مدل ANN در پیش‌بینی فعالیت ALP و ضریب تبدیل خوراک با دقت بالایی عمل کرد و به ترتیب به مقادیر R^2 معادل ۹۷٪ و ۹۵٪ دست یافت. آنالیز حساسیت نشان داد که فعالیت ALP سرم نسبت به تغییرات کلسیم حساسیت بیشتری نشان می‌دهد، در حالی که ضریب تبدیل خوراک نسبت به تغییرات روی حساسیت بیشتری دارد. علاوه بر این، با بهینه‌سازی مدل ANN، کمترین ضریب تبدیل خوراک قابل دستیابی ۱/۴۱ تعیین شد. این مقدار با فعالیت ALP معادل ۱۱۹۰ واحد در لیتر، مصرف روزانه روی ۱۱/۲۱ میلی گرم، فسفر ۰/۴۶ گرم و کلسیم ۰/۷۰ گرم بدست می‌آید. این یافته‌ها بینشی را برای بهینه‌سازی تغذیه جوجه‌های گوشتی جهت بهبود عملکرد آنها ارائه می‌دهد. مدل توسعه یافته علاوه بر پیش‌بینی دقیق فعالیت ALP و ضریب تبدیل خوراک در جوجه‌های گوشتی، با ارائه یک ابزار آسان برای بهینه‌سازی مصرف مواد معدنی و پیش‌بینی دقیق عملکرد پرندگان، پرورش جوجه‌های گوشتی را نیز بهبود می‌بخشد. برای سهولت دسترسی خوانندگان و متخصصان تغذیه، یک ماشین حساب اکسل[®] برای پیش‌بینی فعالیت ALP و ضریب تبدیل خوراک در جوجه‌های گوشتی با استفاده از مدل ANN ساخته شده است.</p>
<p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۹</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹</p> <p>تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۴</p>	
<p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>آلکالین فسفاتاز، آموزش ماشین، جوجه گوشتی، ضریب تبدیل خوراک، متاآنالیز.</p>	

استناد: عبدی پور، فاطمه؛ احمدی، حامد؛ کریمی ترشیزی، محمدمیر و ایوک پور، علیرضا (۱۴۰۴). بررسی مواد معدنی موثر بر فعالیت آنزیمی آلکالین فسفاتاز و بازدهی خوراک جوجه‌های گوشتی با استفاده از روش‌های متاآنالیز و آموزش ماشین. *نشریه علوم دامی ایران*، ۵۶ (۱)، ۲۱۱-۱۹۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2024.368959.653980>



مقدمه و پیشینه پژوهش

تغییر در میزان مواد مغذی دریافت شده توسط پرنده سبب تغییر در مقدار آنزیم‌های سرم خونی، عملکرد آنزیم‌ها و میزان فعالیت آن در سرم خونی می‌شود (Viveros *et al.*, 2002). یکی از آنزیم‌های موجود در سرم خون پرندگان آنزیم آلکالین فسفاتاز (ALP) است که فعالیت آن تحت تأثیر دو عامل فیزیولوژی و محیط خارجی قرار می‌گیرد (Whittow, 1999). آنزیم آلکالین فسفاتاز از لحاظ ماهیت عملکردی، یک آنزیم هیدرولازی و از نظر ساختاری یک متالوآنزیم است (Golub and Boesze-Battaglia, 2007; Schoppet and Shanahan, 2008; Abdi and Williams, 2010). از آنجایی که عنصر روی جزء ضروری در آنزیم آلکالین فسفاتاز است، در جوجه‌های گوشتی با افزایش روی در جیره افزایش قابل توجهی در فعالیت آلکالین فسفاتاز خون دیده شده است (Idowu *et al.*, 2011; Abedini *et al.*, 2018). علاوه بر عنصر روی مواد معدنی دیگری نیز مانند کلسیم و فسفر بر عملکرد آنزیم آلکالین فسفاتاز و میزان فعالیت آن در سرم خونی اثرگذار هستند (Viveros *et al.*, 2002). به طوری که با افزایش میزان کلسیم دریافتی از جیره میزان آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم جوجه‌های گوشتی کاهش می‌یابد (Reichmann and Connor, 1977; Zhang *et al.*, 2023).

در رابطه با نقش فسفر در فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز نتایج ضد و نقیضی گزارش شد به طوری که وای وروس و همکاران بیان کردند تغذیه جوجه‌های گوشتی با سطوح پایین فسفر قابل دسترس خوراک، فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز خون را افزایش داد و به عبارت دیگر کاهش فسفر قابل دسترس در خون به هر دلیلی سبب افزایش فعالیت آلکالین فسفاتاز شد که این افزایش فعالیت آلکالین فسفاتاز ممکن است ناشی از فعالیت استتوبلاست باشد، که در حیوانات جوان و در حال رشد و در اختلالاتی که در آن رشد یا بازسازی استخوان در حال انجام است، بیشتر است (Viveros *et al.*, 2002). اما در مقابل در تحقیقات تازه‌تر در پوله‌های تخم‌گذار سطوح مختلف فسفر غیر فیتاته در خوراک به طور قابل توجهی بر فعالیت آلکالین فسفاتاز تأثیر گذاشت و نتایج نشان دادند با افزایش میزان فسفر غیر فیتاته در خوراک میزان فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم به طور قابل توجهی افزایش یافت (Zhang *et al.*, 2023). در تحقیقات اخیر رابطه مستقیم بین فسفر با آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم دیده شد که این موضوع در جوجه‌های گوشتی نیز صدق می‌کند به طوری که مصرف جیره کم کلسیم و فسفر آنزیم آلکالین فسفاتاز در سرم خون را کاهش داد و علاوه بر آن تأثیر معنی‌داری بر عملکرد رشد داشت که سبب افزایش ضریب تبدیل خوراک شد (Zhang *et al.*, 2020). در تحقیقات دیگر نیز نشان دادند که فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز با صفات عملکرد نیز مرتبط بوده و همچنین سطوح کلسیم و فسفر بر کیفیت لاشه جوجه‌های گوشتی اثر گذار است (Gootwine and Brody, 1979; Driver *et al.*, 2006).

با توجه به اهمیت درک روابط بین مواد معدنی دریافت شده با تغییرات آنزیمی در سرم خون و تغییرات در عملکرد جوجه‌های گوشتی و نبود اطلاعات واحد در رابطه با چگونگی و پیش‌بینی روابط بین مواد معدنی کلسیم، فسفر، روی و آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم بر ضریب تبدیل خوراک لازم است تا با گردآوری و استفاده از داده‌های موجود از آزمایش‌های پیشین که تعداد بالا و قابل قبولی نیز دارد به یک نتیجه واحد از روابط بین مواد معدنی و فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم خونی و عملکرد جوجه‌های گوشتی دست یابی و اهمیت این دست‌یابی از این جهت است که روابط ارائه شده اطلاعات جامعی در رابطه با روابط بین مواد معدنی و آنزیم آلکالین فسفاتاز و عملکرد پرنده ارائه می‌کند و به راحتی قابل استفاده بوده و می‌توان در کوتاهترین زمان با در نظر گرفتن پارامترهای مواد معدنی دریافتی و سطح آنزیم آلکالین فسفاتاز میزان عملکرد جوجه گوشتی را پیش‌بینی و برآورد کنیم.

به این منظور از روش‌های نظیر متآنالیز استفاده می‌شود. پس از جمع‌آوری اطلاعات به صورت سیستماتیک لازم است تا به بررسی و تفسیر این روابط باروشی مشخص پرداخته شود. یکی از این روش‌ها، پیش‌بینی به کمک آموزش ماشین است و

از روش‌های مبتنی بر آموزش ماشین، روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) است که در واقع شبکه‌های عصبی مصنوعی نمودارهای سیستم محاسباتی هستند که تقریباً بر اساس شبکه‌های عصبی بیولوژیکی که مغز حیوانات را تشکیل می‌دهند، مدل‌سازی شده‌اند. این شبکه شامل گره‌های ورودی، پنهان و خروجی هستند که با دریافت داده‌های ورودی و پس از پردازش داده‌ها با توجه به ماهیت آن‌ها خروجی قابل قبولی ایجاد می‌کند (Hamadache et al., 2017). در حال حاضر اطلاعات جمع آوری شده‌ای به روش متاآنالیز و داده‌هایی برای پیش‌بینی میزان فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز از عناصر معدنی دریافتی و همچنین پیش‌بینی بازدهی خوراک از میزان فعالیت آلکالین فسفاتاز سرم خونی و مواد معدنی دریافتی، در جوجه‌های گوشتی در دسترس نیست و در مقابل داده‌های خام بسیاری در رابطه با مقادیر آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم خون و عملکرد پرنده در مقالات پیشین وجود داشت که در برآورد هرچه صحیح‌تر این روابط بسیار کمک کننده بوده است چراکه یکی از لازمه‌های آزمایش‌های متاآنالیز در دسترس داشتن داده‌هایی با تعداد بالا است و به این جهت از آنزیم آلکالین فسفاتاز برای پیش‌بینی ضریب تبدیل خوراک استفاده گردید. هدف از انجام این مطالعه جمع آوری داده‌ها به روش متاآنالیز و تعیین مدل‌ها به کمک روش‌های مبتنی بر آموزش ماشین جهت پیش‌بینی فعالیت آنزیمی آلکالین فسفاتاز سرم خونی از مواد معدنی دریافتی و پیش‌بینی ضریب تبدیل خوراک از میزان فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم خونی و مواد معدنی دریافتی توسط جوجه‌های گوشتی است.

روش شناسی پژوهش

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش با استفاده از روش متاآنالیز و جستجوی سازماندهی شده از منابع معتبر استخراج شد. در جمع‌آوری اطلاعات محدودیت زبان وجود نداشت و همچنین مقالاتی انتخاب شدند که آزمایش بیولوژیک روی جوجه‌های گوشتی در شرایط مزرعه داشتند. به صورت کلی از مقالات جمع‌آوری شده در بازه سال‌های ۱۹۹۸ الی ۲۰۲۰ میلادی استفاده شد. کلمات کلیدی در جست‌وجو شامل آلکالین فسفاتاز سرم خونی، مواد معدنی دریافت شده توسط جوجه‌های گوشتی، ضریب تبدیل خوراک، بازده خوراک بود. در تمام این آزمایش‌ها از جوجه‌های گوشتی استفاده شده است که به ترتیب ۴۷/۰۵ درصد راس ۳۰۸، ۱۱/۷۶ درصد آرپورآکرز، ۱۴/۷۰ درصد کاب، ۵/۸۸ درصد آرین و ۲۰/۵۸ درصد سایر سویه‌های جوجه گوشتی مورد استفاده قرار گرفت. به طور کلی پرنده‌های مورد استفاده در مقالات بیشتر به صورت دوجنس پرورش یافتند به طوری که در ۷۴ درصد مقالات هر دو جنس و در ۲۶ درصد دیگر فقط جنس نر را در تحقیقات خود استفاده کردند.

در این پژوهش داده‌ها از مقالات پیشین به دست آمد و از ۲۹ مقاله انتخاب شده بر اساس معیارها و طبقه‌بندی‌های روش متاآنالیز ۱۸۵ ردیف نمونه استخراج گردید که شرح این مقالات در جدول ۱ ذکر شد. به طور کلی برای به دست آوردن این تعداد ردیف نمونه، ۱۱۳۹۲ قطعه جوجه گوشتی در مقالات چاپ شده پیشین استفاده شده است. شاخص‌های مورد نظر در این مقالات میزان فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز موجود در سرم خونی با واحد (U/L)، میزان مصرف روزانه عناصر معدنی مانند کلسیم (گرم در روز)، فسفر (گرم در روز) و روی (میلی‌گرم در روز)، و بازدهی خوراک در جوجه‌های گوشتی بود. در اکثر مقالات اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم خونی در سن ۴۲ روزگی جوجه‌های گوشتی و ضریب تبدیل نیز در سن ۴۲ روزگی صورت گرفت. البته که به منظور یکسان‌سازی واحدها با استفاده از میزان خوراک مصرفی روزانه هر پرنده، واحد مواد معدنی مصرف شده به گرم در روز تبدیل شد. در این پژوهش از مدل شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم شبکه پیش‌خور با ساختاری سه لایه (ورودی، پنهان و خروجی) استفاده شد که به جهت رسیدن به بهترین مدل پس از آزمون و خطا در هر لایه پنهان ۹ نورون در نظر گرفته شد. روند آموزش داده‌ها تا رسیدن به میانگین مربعات خطا ۰/۰۰۱ ادامه یافت. به جهت قرارگیری داده‌ها

1 Artificial neural network

2. Feed Forward network

در تابع انتقال در لایه‌های پنهان و خروجی به ترتیب از توابع سیگموئید تانژانت هایپربولیک (tanH) و خطی (pureline) استفاده شد. جهت آموزش کل شبکه از الگوریتم لونیگ-مارکوارت استفاده شد که سریع‌ترین الگوریتم به جهت آموزش شبکه عصبی معرفی شده است (Ahmadi and Golian, 2010; Ahmadi and Rodehutscond, 2017).

داده‌های ورودی شامل آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم، کلسیم، فسفر و روی دریافتی پرند بودند و ضریب تبدیل خوراک به عنوان تابع خروجی در نظر گرفته شد که البته در مدل دیگر کلسیم، فسفر و روی دریافتی پرند داده‌های ورودی و میزان آلکالین فسفاتاز سرم داده به عنوان داده خروجی استفاده شد. لازم به ذکر است که ارزیابی در این مدل با اعتبار سنجی متقابل به صورت ۵ قسمتی انجام شد (Vu et al., 2022). به جهت ایجاد همگنی در داده‌ها و ساخت مدلی با همگرایی بالا و خطای کمتر، ماتریس داده‌ها در بازه (۱ و -۱) نرمال شدند. ارزیابی کارآیی مدل محاسبه شده به کمک معیارهایی از جمله ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، بررسی شد. برای ارزیابی عملکرد مدل، از مقدار R^2 به عنوان معیاری برای سنجش "دقت" و از مقادیر RMSE معمولاً برای نشان دادن "صحت" یک مدل استفاده می‌شود (Ahmadi and Rodehutscond, 2017). به جهت ساخت مدل شبکه عصبی مصنوعی از نرم افزار JMP PRO نسخه ۱۴ استفاده شد. تفاوت‌ها در سطح معنی‌داری $P < 0.05$ در نظر گرفته شد. پس از دستیابی به مدل شبکه عصبی مصنوعی میزان بهینه مولفه‌های ورودی نیز برای بهترین ضریب تبدیل خوراک با استفاده از روش الگوریتم بهینه‌سازی «جستجوی تصادفی» انجام شد به طوری که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ساخته شده برای یافتن مقادیر بهینه متغیرهای ورودی شامل میزان فسفر، کلسیم، روی مصرفی و آلکالین فسفاتاز سرم برای به حداقل رساندن FCR تحت یک فرآیند قرار گرفتند.

جدول ۱. شرح مطالعات مورد استفاده در متاآنالیز

منابع	کشور	تعداد مشاهدات	آلکالین فسفاتاز ^۱	ضریب تبدیل خوراک ^۲	Zn (mg/day) ^۳	(g/day) ^۴ P	(g/day) ^۵ Ca
(pour Bashi et al., 2015)	ایران	۶	۸۵۹/۷-۸۶۵/۴	۱/۱-۷/۸	۸/۹-۹/۳	۰/۰-۳/۴	۰/۱-۷/۵
(Huff et al., 1998)	آمریکا	۴	۳۹۷۴-۳۰۳۳	۱/۱-۷/۸	۹/۹-۸/۹	۰/۰-۳/۴	۰/۰-۷/۸
(Mishra et al., 2013)	هند	۵	۸۶/۹۸-۶/۵	۱/۱-۸/۹	۶/۷-۸/۴	۰/۰-۵/۶	*
(Güz et al., 2019)	هلند	۴	۱۱۱۵/۱۲۰۴-۲/۷	۱/۱-۵/۶	۱۷/۱۸-۸/۱	۰/۰-۵/۶	۰/۰-۸/۸
(Hajilari et al., 2019)	ایران	۶	۱۱۵/۱۲۵-۹/۸	۱/۲-۹	۱۶/۱۶-۱/۴	۰/۴-۰/۴	۰/۱-۹
(Qin et al., 2020)	چین	۵	۵۰۶/۵۹۵-۵	۱/۱-۵/۶	۳/۲۲-۲/۷	۰/۰-۴/۴	۱/۱-۱/۲
(Zhang et al., 2020)	چین	۴	۴۵۷۶-۳۹۷۵	۱/۱-۴/۶	۵/۵-۲/۸	۰/۰-۱/۲	۰/۰-۳/۵
(Denli et al., 2004)	ترکیه	۹	۵۵۶/۷۹۱-۹/۲	۱/۱-۷/۸	۷/۷-۱/۷	۰/۰-۶/۶	۰/۰-۸/۹
(Panda et al., 2006)	هند	۴	۳۸/۳۸-۵/۹	۱/۲-۲/۳	۸/۱۰-۳/۴	۰/۰-۲/۳	۰/۰-۶/۷
(Sheikhhasan et al., 2020)	ایران	۵	۲۳۹۹-۱۸۶۲	۱/۱-۶/۷	۱۰/۱۱-۳	۰/۰-۳/۳	۰/۰-۷/۸
(Hesabi Nameghi et al., 2019)	ایران	۵	۱۳۱/۱۴۵-۹	۱/۱-۶/۸	۱۰/۱۲-۱/۷	۰/۰-۳/۳	۰/۰-۶/۷
(Ebrahimzadeh et al., 2013)	ایران	۴	۸۳/۱۰۶-۵/۲	۱/۲-۸	۲۰/۲۳-۶/۷	۰/۰-۳/۴	۰/۰-۷/۸
(El-Katcha et al., 2017)	مصر	۹	۱۲۵۶/۱۴۴۸-۹/۷	۲/۲-۳/۴	۳/۸-۷/۱	۰/۰-۳/۳	۰/۰-۸/۹
(Eler et al., 2019)	برزیل	۵	۲۲۷۸-۱۷۳۳	۱/۱-۶/۷	۱۴/۱۵-۴	۰/۰-۴/۴	۰/۱-۹
(Saei et al., 2013)	ایران	۴	۴۵۷۹-۳۸۵۷	۱/۱-۷/۹	۶/۸-۹/۲	۰/۰-۳/۴	۰/۰-۶/۷
(Nourmohammadi and Khosravinia, 2015)	ایران	۳	۲۵۱۹/۲۷۴۰-۴/۱	۲-۲/۰۳	۵/۷-۸/۳	۰/۰-۲/۳	۰/۰-۶/۸
(Viveros et al., 2002)	اسپانیا	۵	۳۵۰۲-۲۴۱۰	۲/۳۳	۱۰-۸/۷	۰/۰-۱/۴	۱-۱/۲
(Żyła et al., 2001)	لهستان	۴	۴۷۲۰-۴۰۶۰	۱/۱-۸/۹	۸/۹-۷/۶	۰/۰-۱/۴	۰/۱-۶/۸
(Liu et al., 2020)	چین	۶	۲۶۴۰-۹۳۷	۱/۱-۸/۸	۱۵/۱۶-۷/۱	۰/۰-۷/۷	۰/۱-۹۲
(Pourakbari et al., 2016)	ایران	۵	۳۵۵-۱۳۹	۱/۱-۶/۸	۷/۸-۹/۶	۰/۰-۷/۸	۱/۱-۱/۲

1. Hyperbolic tangent sigmoid
2. Levenberg-Marquardt
3. k-fold cross validation
4. Coefficient of Determination
5. Root-mean-square error

ادامه جدول ۱. شرح مطالعات مورد استفاده در متآنالیز

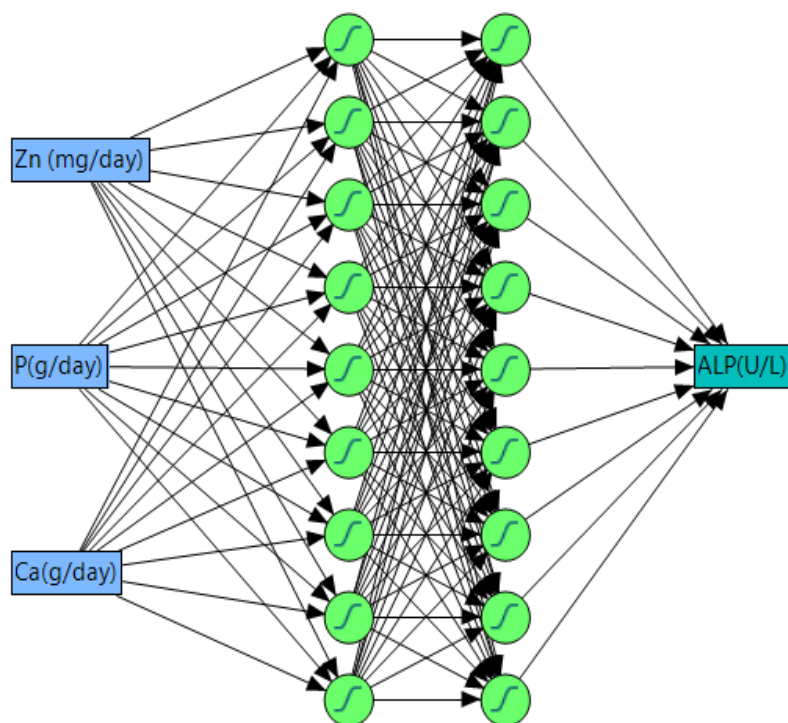
منابع	کشور	تعداد مشاهدات	آلکالین فسفاتاز ^۱	ضریب تبدیل خوراک ^۲	Zn (mg/day) ^۳	P (g/day) ^۴	Ca (g/day) ^۵
(Ebrahimnezhad <i>et al.</i> , 2008)	ایران	۷	۹۵۶-۸۶۱	۲/۲-۳/۵	۸/۹-۱/۲	۰/۰-۱/۳	۰/۰-۷/۸
(Hosseini-Vashan <i>et al.</i> , 201۵)	ایران	۳	۲۴۲۱-۱۲۲۰	۱/۱-۶/۷	*	۰/۰-۳/۳	۰/۰-۸/۹
(Varmaghany <i>et al.</i> , 2013)	ایران	۸	۳۳۶/۷۳۹-۲/۳	۱/۱-۶/۷	۸/۹-۲/۲	۰/۰-۴/۵	۰/۱-۹
(Farhadi <i>et al.</i> , 2017)	ایران	۱۱	۲۳۰۴-۲۲۱۲/۲	۱/۱-۷/۸	۶/۶-۱/۵	۰/۰-۱/۸	۰/۰-۳/۴
(Al-Harathi <i>et al.</i> , 2020)	عربستان سعودی	۶	۱۳۵-۱۱۵	۱/۱-۳/۴	۵/۵-۳/۹	۰/۰-۲/۳	۰/۰-۵/۶
(Wang <i>et al.</i> , 2011)	چین	۵	۲۰۱۴/۲۱۳۸-۵/۳	۱/۲-۹	۱۰/۱۰-۴/۹	۰/۰-۶/۶	۱/۱-۲/۳
(Behroozlak <i>et al.</i> , 2020)	ایران	۱۵	۲۳۲-۱۷۳	۱/۲-۹۴/۱۶	۸/۱۰-۱۶/۰۳	۰/۰-۳۴/۴۲	۰/۰-۷۰/۸۶
(Saminathan <i>et al.</i> , 2018)	مالزی	۶	۱۷۸۴/۲۷۶۶-۹/۴	۱/۱-۶۷/۷۶	۱۱/۱۲-۸۸/۸۲	۰/۰-۳۴/۳۷	۰/۰-۷۶/۸۲
(Sherif, 2009)	مصر	۱۷	۴۸/۵۴-۵/۸	۱/۱-۷۵/۹۳	۸/۹-۳۹/۷۹	۰/۰-۵۰/۷۲	۱/۱-۲۰/۳۰

۱- آلکالین فسفاتاز سرم خون با واحد U/L؛ ۲- ضریب تبدیل خوراک با واحد گرم در گرم؛ ۳- مقدار مصرف روی، میلی گرم در روز به ازای هر پرنده؛ ۴- مقدار مصرف فسفر، گرم در روز به ازای هر پرنده؛ ۵- مقدار مصرف کلسیم، گرم در روز به ازای هر پرنده

یافته‌های پژوهش و بحث

مدل پیش‌بینی فعالیت آنزیمی آلکالین فسفاتاز از مواد معدنی دریافتی

بر طبق ساختار شبکه عصبی مصنوعی در شکل ۱ کلسیم، فسفر و روی دریافتی پرنده به عنوان داده‌های ورودی و میزان فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم به عنوان داده خروجی استفاده شد.



شکل ۱. ساختار شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز (ALP) بر اساس ورودی‌های مدل شامل روی (Zn)، فسفر (P) و کلسیم (Ca) دریافتی جوجه‌های گوشتی

در این شبکه با آزمون و خطا بهترین تعداد لایه و نورون برای رسیدن به مدل با کارایی بالا انتخاب شد به طوری که بر طبق الگوریتم لونیگ-مارکوارت تعداد دولایه و ۹ نورون در نظر گرفته شد همچنین میزان تکرار با در نظر گرفتن عدم بیش برآزش توسط نرم افزار تعیین گردید و انتخاب به صورت دستی نبود. مدل شبکه عصبی مصنوعی به دست آمده از نظر شاخص - های آماری به جهت بررسی صحت و دقت مورد بررسی قرار گرفت که بر طبق نتایج به دست آمده در جدول ۲، میزان R^2 که نشان دهنده دقت مدل است به ترتیب برای دسته آموزش و ارزیابی ۹۷ و ۹۶ درصد و RMSE که بیانگر صحت مدل است به ترتیب ۲۱۶/۷ و ۲۲۷/۶ (U/L) گزارش شد که با توجه به مقادیر عددی به دست آمده در این دو شاخص صحت و دقت مدل به دست آمده بالا بود. در همین راستا در تحقیقات قبلی نیز معادلات رگرسیون درجه دوم به جهت پیش بینی میزان فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز در سرم از کلسیم جیره با میزان ضریب تبیین ۰/۴۹ به دست آمد (Bai *et al.*, 2022).

جدول ۲. اطلاعات آماری مربوط به مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش بینی فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز

آموزش (Training)	ارزیابی (Validation)	
۰/۹۷	۰/۹۶	R^2
۲۱۶/۷	۲۲۷/۶	RMSE
	۲	تعداد لایه پنهان
	۹	تعداد نورون در هر لایه پنهان

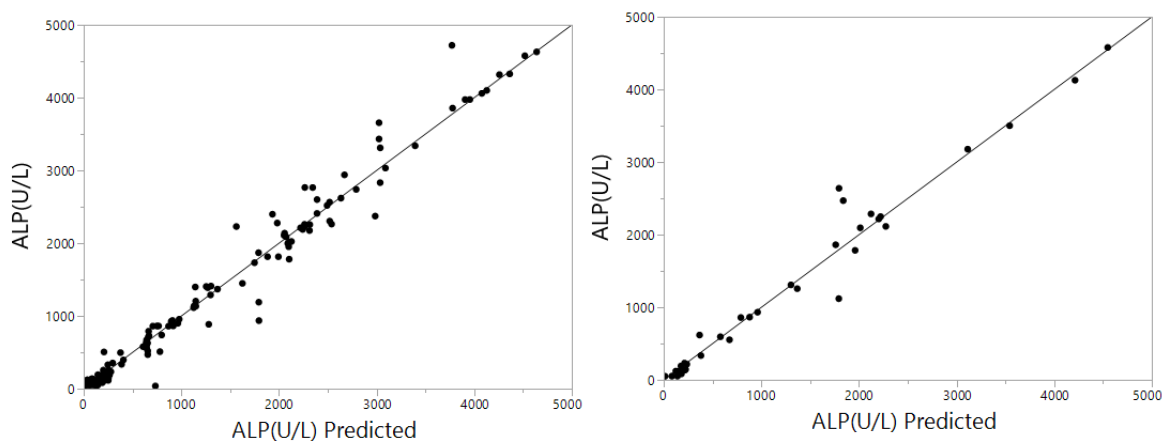
R^2 = ضریب تبیین؛ RMSE = مجذور میانگین مربعات خطا

اگرچه روش شبکه عصبی مصنوعی به تعداد بسیار بیشتری از داده‌ها نسبت به مدل‌های رگرسیون خطی برای ساخت یک مدل کارآمد نیاز دارد، اما در زمانی که مجموعه داده‌های کافی در دسترس قرار گیرد و توزیع آماری داده‌ها در بخش ورودی مدل شبکه عصبی مصنوعی به خوبی انجام شده باشد استفاده از این مدل به جای مدل‌های خطی می‌تواند سودمند باشد. همچنین این مدل می‌تواند تقریباً همه انواع توابع غیر خطی از جمله توابع درجه دوم را تخمین بزند، در حالی که مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه فقط برای تقریب‌های خطی مفید است (Ahmadi and Rodehutsord, 2017).

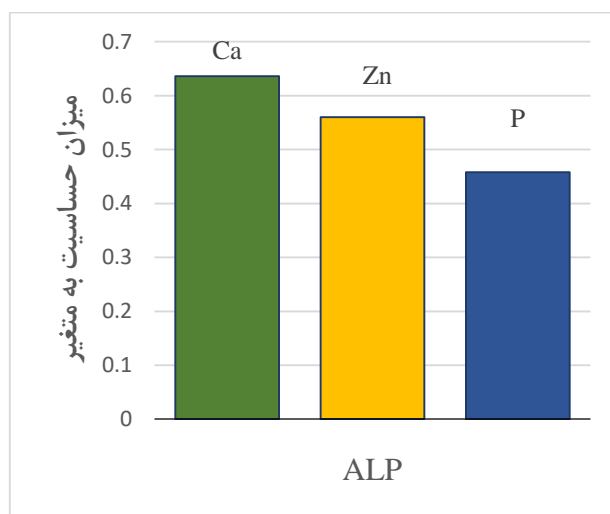
در ادامه نتایج به دست آمده از مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده آنزیم آلکالین فسفاتاز به دست آمده از مدل شبکه عصبی مصنوعی با مقادیر واقعی (به دست آمده از آزمایش‌های حیوانی) در شکل ۲ به نمایش درآمد. که یک نمودار مربوط به داده‌های بخش آموزش و نمودار دیگر مربوط به داده‌های بخش ارزیابی است. بر طبق نتایج هر دو نمودار نقاط مربوط به داده‌های واقعی به دست آمده از آزمایش بیولوژیک به خط مدل پیش‌بینی نزدیک بود و این فاصله کم نشان دهنده کارایی بالایی مدل شبکه عصبی مصنوعی و دقت بالای مدل جهت پیش‌بینی مقادیر آنزیم آلکالین فسفاتاز از داده‌های آموزش داده شده بود.

میزان حساسیت متغیرها برای پیش‌بینی آنزیم آلکالین فسفاتاز به دست آمد و در شکل ۳ نشان داده شد که بر طبق آن بیشترین تاثیر را ماده معدنی کلسیم و پس از آن به ترتیب روی و فسفر بر آنزیم آلکالین فسفاتاز داشتند که به عبارت دیگر حساسیت آنزیم آلکالین فسفاتاز به کلسیم بالاتر بود. در تایید مطالعه حاضر در تحقیقات دیگری نشان داده شد که فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز در سرم به کلسیم جیره حساس است و می‌توان از این رابطه برای ارزیابی نیازهای کلسیم جیره برای مرغ‌های تخم‌گذار و جوجه‌های گوشتی استفاده کرد (Bai *et al.*, 2022). در همین راستا محققان دریافته‌اند افزایش سطح کلسیم از ۰/۱ به ۰/۹ درصد سبب کاهش میزان آلکالین فسفاتاز سرم خون شد و این بیانگر وجود رابطه خطی منفی بین کلسیم دریافتی و آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم خون است و زمانی که جوجه‌های گوشتی با جیره کم کلسیم تغذیه شدند استخوان سازی

سرکوب شد و میزان آلکالین فسفاتاز سرم خون افزایش داشت بر این اساس این محققان همچنین معادلات رگرسیون را جهت پیش‌بینی میزان آنزیم آلکالین فسفاتاز از منابع مختلف کلسیم ارائه نمودند (chaksari et al., 2022).



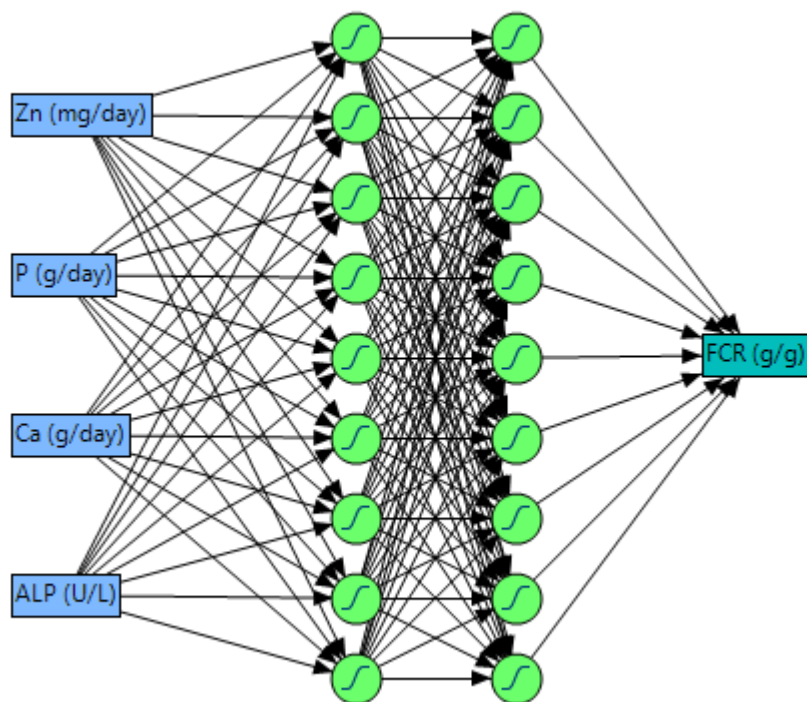
شکل ۲. مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم خونی (U/L) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی. آموزش (Training) در سمت چپ تصویر و ارزیابی (Validation) در سمت راست.



شکل ۳. میزان حساسیت به متغیرها برای آنزیم آلکالین فسفاتاز (ALP) با واحد (U/L) نسبت به مواد معدنی روی (Zn میلی گرم در روز)، کلسیم (Ca گرم در روز) و فسفر (P گرم در روز)

مدل پیش‌بینی ضریب تبدیل خوراک از فعالیت آنزیمی آلکالین فسفاتاز و مواد معدنی دریافتی

ساختار شبکه عصبی مصنوعی در شکل ۴ به نمایش درآمد که بر طبق آن فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم و مواد معدنی کلسیم، فسفر و روی دریافتی پرنده داده‌های ورودی و میزان ضریب تبدیل خوراک به عنوان داده خروجی استفاده شد.



شکل ۴. ساختار شبکه عصبی مصنوعی برای مدلسازی ضریب تبدیل خوراک (FCR) بر اساس ورودی‌های مدل شامل فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز (ALP)، مواد معدنی روی (Zn)، فسفر (P) و کلسیم (Ca) دریافتی جوجه‌های گوشتی

در این شبکه بر طبق الگوریتم لونیگ-مارکواریت تعداد دولایه و ۹ نورون با آزمون و خطا به جهت رسیدن به مدل با کارایی بالا در نظر گرفته شد. مدل شبکه عصبی مصنوعی به دست آمده از نظر شاخص‌های آماری به جهت بررسی دقت و صحت مورد بررسی قرار گرفت که بر طبق نتایج به دست آمده در جدول ۳ میزان R^2 در دسته آموزش و ارزیابی به ترتیب ۹۵ و ۹۸ درصد و میزان RMSE به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۳ (g/g) گزارش شد که این میزان حاکی از دقت و صحت بالای مدل به دست آمده به روش شبکه عصبی مصنوعی بود. میزان شاخص‌ها نشان دادند که این مدل به خوبی می‌تواند به دیگر داده‌های خارج از مدل که در مدل‌سازی حضور نداشتند تعمیم داده شود (Baiz et al., 2020).

جدول ۳. اطلاعات آماری مربوط به مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی ضریب تبدیل خوراک

ارزیابی (Validation)	آموزش (Training)	
۰/۹۸	۰/۹۵	R^2
۰/۰۳	۰/۰۵	RMSE
۲		تعداد لایه پنهان
۹		تعداد نورون در هر لایه پنهان

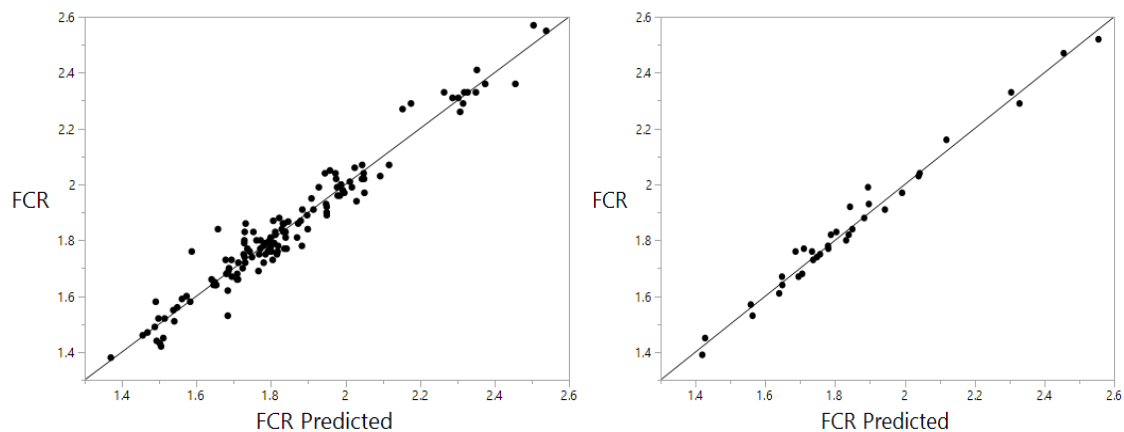
R^2 = ضریب تبیین؛ RMSE = مجذور میانگین مربعات خطا

در شکل ۵ مقادیر پیش‌بینی شده ضریب تبدیل خوراک از مدل شبکه عصبی مصنوعی با مقادیر واقعی به دست آمده از آزمایش بیولوژیک مورد مقایسه قرار گرفت که نمودار سمت چپ مربوط به داده‌های بخش آموزش و نمودار دیگر مربوط به داده‌های بخش ارزیابی است. بر طبق نتایج هر دو نمودار نقاط مربوط به داده‌های واقعی به دست آمده از آزمایش بیولوژیک به خط مدل پیش‌بینی نزدیک بود و این فاصله کم نشان دهنده کارایی بالایی مدل شبکه عصبی مصنوعی و دقت بالای مدل جهت پیش‌بینی مقادیر ضریب تبدیل خوراک از داده‌های آموزش داده شده بود. مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از مجموعه داده‌های بزرگتر دارای انعطاف پذیری بالاتری نسبت به مدل‌های خطی بوده و سبب افزایش دقت استنتاج پیش‌بینی می‌شود. این مدل می‌تواند روابط غیرخطی پیچیده بین متغیرهای مستقل و وابسته را تشخیص دهد همچنین این توانایی را دارد که تمام تعاملات ممکن بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده را شناسایی کند و علاوه بر آن شبکه‌های عصبی را می‌توان با استفاده از چندین الگوریتم آموزشی مختلف توسعه داد. با توجه به ویژگی‌های این روش، مدل‌سازی غیر خطی به طور بهینه صورت می‌گیرد (Tu, 1996; Lisboa and Taktak, 2006).

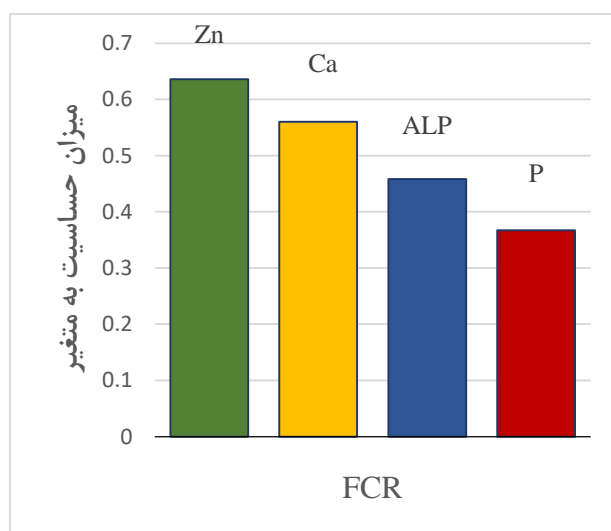
میزان حساسیت متغیرها برای ضریب تبدیل خوراک در شکل ۶ نشان داده شد و بر طبق آن بیشترین تاثیر را ماده معدنی روی و پس از آن به ترتیب کلسیم، آلکالین فسفاتاز و فسفر بر تغییرات ضریب تبدیل خوراک داشتند و به عبارت دیگر حساسیت ضریب تبدیل خوراک به روی بالاتر بود. با توجه به نتایج به دست آمده در شکل ۷ و بررسی روابط بین مواد معدنی دریافت شده توسط جوجه‌های گوشتی با ضریب تبدیل خوراک دریافتیم با افزایش میزان کلسیم ضریب تبدیل خوراک افزایش داشته است که در همین راستا محققان دیگر نیز در مطالعات پیشین دریافتند ضریب تبدیل خوراک با افزایش کلسیم جیره تا ۰/۶۲۵ درصد کلسیم به صورت خطی کاهش یافت و با افزایش میزان کلسیم بالاتر از ۰/۶۲۵ درصد ضریب تبدیل خوراک افزایش یافت. به عبارت دیگر، با افزایش میزان کلسیم جیره ضریب تبدیل خوراک بدتر شد. دلیل احتمالی تأثیر منفی جیره با کلسیم بالا بر سرعت رشد جوجه‌های گوشتی ممکن است به دلیل کاهش نسبتاً زیاد فسفر قابل دسترس به دلیل افزایش کلسیم باشد که منجر به تشکیل کمپلکس‌های بسیار نامحلول کلسیم فیتات و کمبود شدید فسفر می‌شود. علاوه بر این، کلسیم بالاتر خوراک می‌تواند pH روده را افزایش دهد که جذب مواد معدنی را کاهش می‌دهد. نتایج شکل ۸ نشان داد عمدتاً با افزایش میزان آلکالین فسفاتاز سرم، ضریب تبدیل خوراک افزایش داشته است از طرفی مطالعات پیشین نشان داد رابطه مستقیمی بین روی افزوده شده در خوراک و آنزیم آلکالین فسفاتاز خون وجود دارد به طوری که افزایش قابل توجهی در فعالیت آلکالین فسفاتاز خون با افزایش روی در جیره مشاهده گردید اما در مقابل در تحقیقات دیگر با افزودن منابع روی با قابلیت دسترسی بالا عملکرد جوجه‌های گوشتی نیز بهبود یافت (McCuAIG and Motzok, 1974; Azimi et al., 2020).

پس از دستیابی به بهترین مدل، هدف نهایی تجزیه و تحلیل مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی صرف نظر از بهینه‌سازی جنبه اقتصادی، رسیدن به حداقل ضریب تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی با مقادیر بهینه متغیرهای ورودی بود. طبق جدول ۴ نتایج نشان داد که مصرف ۱۱/۲۱ میلی گرم روی، ۰/۴۶ گرم فسفر و ۰/۷۰ گرم کلسیم به صورت روزانه و فعالیت معادل ۱۱۹۰ واحد در لیتر آلکالین فسفاتاز سبب دستیابی به کمترین ضریب تبدیل خوراک با مقدار ۱/۴۱ شد. در همین راستا محققان دیگر دریافتند که جوجه‌های گوشتی بیشترین افزایش وزن و بهترین ضریب تبدیل خود را با دریافت ۰/۷ درصد کلسیم جیره و ۰/۳۸ درصد فسفر غیر فیتاته جیره به دست آوردند علاوه بر این، برخی از محققان سطوح نسبتاً پایین‌تری از کلسیم جیره (۰/۶۰ تا ۰/۶۵ درصد) را برای جوجه‌های گوشتی با توجه به افزایش وزن و مصرف خوراک توصیه کردند. به علاوه افزایش سطح کلسیم جیره از ۰/۷ به ۱/۱۸ درصد تأثیر منفی بر سرعت رشد جوجه‌های گوشتی از ۱ تا ۲۱ روز داشت. به طور کلی سطح کلسیم دریافتی ۰/۵۹ درصد در جیره برای به دست آوردن بهترین نرخ رشد جوجه‌های گوشتی از سن ۱ تا ۲۱ روزگی کافی

است. با این حال نیاز کلسیم جوجه‌های گوشتی برای حمایت از تمام متابولیسم‌های کلسیم و رشد اسکلتی ۱٪ خواهد بود که همان نیاز فعلی کلسیم NRC^۱ است (Bai et al., 2022).



شکل ۵. مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده ضریب تبدیل خوراک (g/g) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی. آموزش (Training) در سمت چپ تصویر و ارزیابی (Validation) در سمت راست.

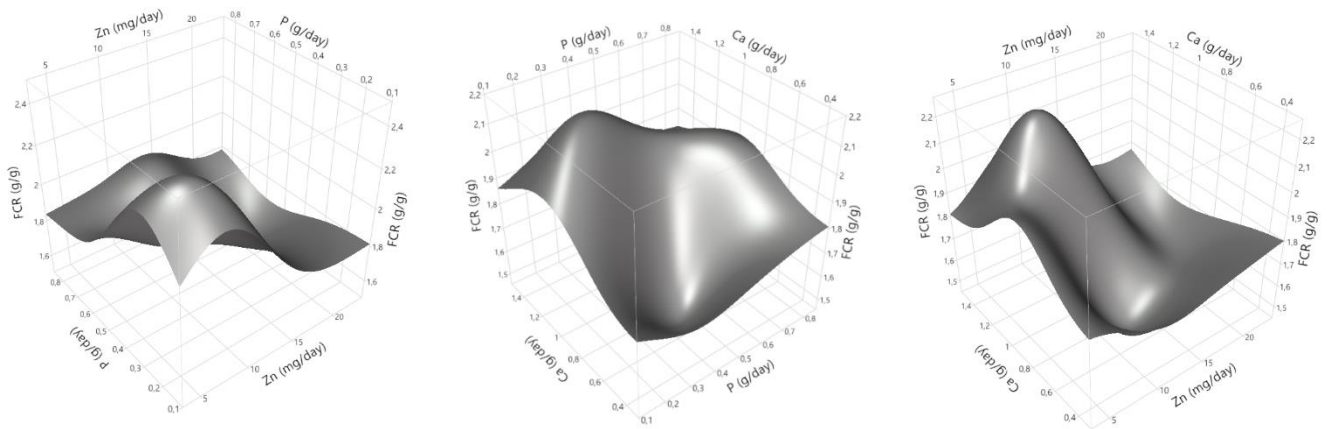


شکل ۶. میزان حساسیت به متغیرها برای ضریب تبدیل خوراک (FCR گرم در گرم) نسبت به مواد معدنی روی (Zn میلی گرم در روز)، کلسیم (Ca گرم در روز) و فسفر (P گرم در روز) و آنزیم آلکالین فسفاتاز (ALP با واحد U/L)

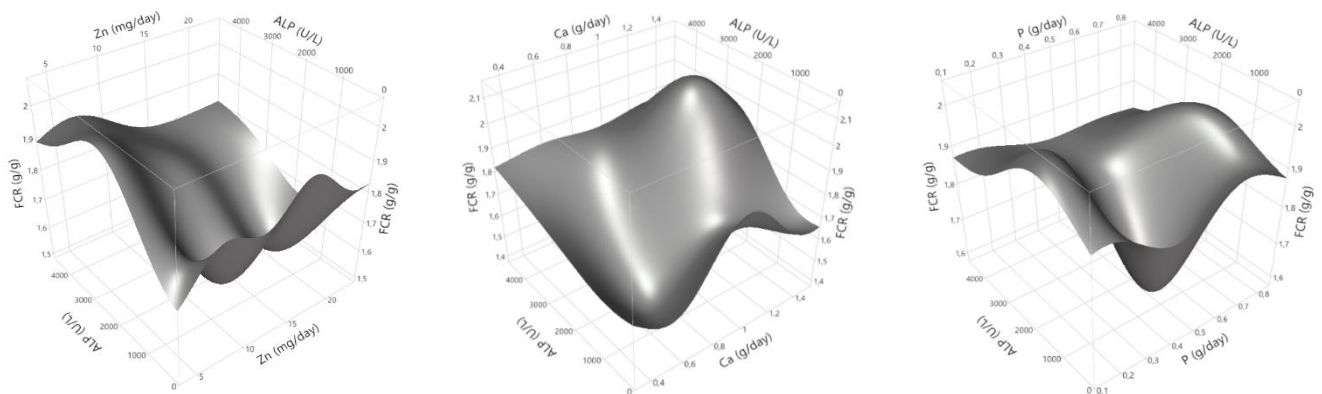
جدول ۴. مقادیر بدست آمده از بهینه‌سازی مدل شبکه عصبی مصنوعی با هدف دستیابی به کمترین مقدار ضریب تبدیل خوراک (FCR) در جوجه‌های گوشتی

اطلاعات مدل	Ca ^۵ (g/day)	P ^۴ (g/day)	Zn ^۳ (mg/day)	آلکالین فسفاتاز ^۱	کمترین ضریب تبدیل خوراک قابل دستیابی ^۲
مدل ضریب تبدیل خوراک	۰/۷۰	۰/۴۶	۱۱/۲۱	۱۱۹۰	۱/۴۱

۱- آلکالین فسفاتاز سرم خون با واحد U/L؛ ۲- ضریب تبدیل خوراک با واحد گرم در گرم؛ ۳- مقدار مصرف روی، میلی گرم در روز به ازای هر پرنده؛ ۴- مقدار مصرف فسفر، گرم در روز به ازای هر پرنده؛ ۵- مقدار مصرف کلسیم، گرم در روز به ازای هر پرنده.



شکل ۷. نمودار پاسخ ضریب تبدیل خوراک (FCR، گرم در گرم) به سطوح مختلف فسفر (P، گرم در روز به ازای هر پرنده)، کلسیم (Ca، گرم در روز به ازای هر پرنده)، روی (Zn، میلی گرم در روز به ازای هر پرنده)



شکل ۸. نمودار پاسخ ضریب تبدیل خوراک (FCR، گرم در گرم) به سطوح مختلف فسفر (P، گرم در روز به ازای هر پرنده)، کلسیم (Ca، گرم در روز به ازای هر پرنده)، روی (Zn، میلی گرم در روز به ازای هر پرنده) و آلکالین فسفاتاز سرم خون (ALP، با واحد U/L)

ارائه نرم افزار کاربردی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی

پس از دستیابی به مدل‌های پیش‌بینی با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، از آنجایی که استفاده از مدل‌های به دست آمده با محاسبات دستی زمان بر بوده لذا لازم است تا با کمک نرم افزارهای دیگر در زمان کوتاهتری ساده‌سازی شده و از این فرمول‌ها استفاده شود بدین منظور در نهایت مدل پیش‌بینی فعالیت آنزیمی آلکالین فسفاتاز سرم خونی از مواد معدنی در جوجه‌های گوشتی و مدل پیش‌بینی بازدهی خوراک جوجه‌های گوشتی از میزان فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم خونی و مواد معدنی دریافتی توسط جوجه‌های گوشتی به دست آمده، در نرم‌افزار Excel قرار داده شد. در نتیجه خروجی حاصل در شکل ۹ نمایش داده شد به طوری که با قرار دادن مقادیر مختلف مواد معدنی و فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز به راحتی و در کوتاهترین زمان می‌توان به مقادیر آلکالین فسفاتاز و ضریب تبدیل خوراک در جوجه‌های گوشتی دست یافت.

The artificial neural network models to calculate ALP activity and FCR for chickens.
Developed by: F. Abdipour, H. Ahmadi, MA Karimi Torshizi, AR Eivakpour (Tarbiat Modares University)

Calculation of ALP activity given minerals intake for chickens	
Zn (mg/day)	10.27
P (g/day)	0.31
Ca (g/day)	0.64
ALP (U/L) 278.2	

Calculation of FCR given minerals and ALP activity	
Zn (mg/day)	10.27
P (g/day)	0.31
Ca (g/day)	0.64
ALP (U/L)	145.02
FCR (g/g) 1.72	

ALP= Alkaline phosphatase activity
FCR= Feed conversion ratio

شکل ۹. پیش‌بینی میزان فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز و ضریب تبدیل خوراک با استفاده از محاسبه‌گر نرم افزار Excel و استفاده از مدل‌های پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش دریافتیم رابطه‌ای غیر خطی بین مواد معدنی کلسیم، روی و فسفر دریافت شده توسط جوجه‌های گوشتی با آنزیم آلکالین فسفاتاز وجود دارد و همچنین تمام موارد گفته شده می‌تواند بر ضریب تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی اثر بخش باشد. علاوه بر این با استفاده از داده‌های وسیع جمع‌آوری شده به صورت منظم و سیستماتیک به روش متاآنالیز، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با کارایی بالا به جهت پیش‌بینی مواد معدنی دریافتی جوجه‌های گوشتی و آنزیم آلکالین فسفاتاز از میزان ضریب تبدیل خوراک به دست آمد. همچنین با بهینه‌سازی مدل شبکه عصبی مصنوعی، کمترین ضریب تبدیل خوراک قابل دستیابی ۱/۴۱ تعیین شد که این مقدار با فعالیت آلکالین فسفاتاز معادل ۱۱۹۰ واحد در لیتر، مصرف روزانه روی ۱۱/۲۱ میلی‌گرم، فسفر ۰/۴۶ گرم و کلسیم ۰/۷۰ گرم بدست می‌آید. در نتیجه این تحقیق با دستیابی به مدل‌های کارا سبب صرفه‌جویی در وقت و هزینه محققان برای دست یافتن به دو شاخص ضریب تبدیل خوراک و آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم خون در جوجه‌های گوشتی می‌شود که پیش‌بینی به کمک مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی برای دو شاخص ضریب تبدیل خوراک و آنزیم آلکالین فسفاتاز سرم خون درگله، کمک شایانی به مدیران مزارع و متخصصان تغذیه در جهت بهبود روند پرورش و تنظیم جیره‌های خوراکی در کوتاهترین زمان می‌نماید. در نهایت برای استفاده راحت‌تر و سریع‌تر از مدل‌های پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از نرم افزار اکسل ابزاری ساده‌سازی شده تهیه و برای استفاده متخصصان، محققان و مدیران ارائه گردید.

پیشنهادها

در نهایت پیشنهاد می‌شود که از روش‌های مبتنی بر آموزش ماشین برای پیش‌بینی دیگر آنزیم‌های سرم خونی، پیش‌بینی فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز از دیگر مواد معدنی تاثیرگذار بر این آنزیم و همچنین پیش‌بینی دیگر خصوصیات عملکردی جوجه‌های گوشتی با استفاده از آنزیم آلکالین فسفاتاز و مواد معدنی دریافتی در جوجه‌های گوشتی استفاده شود.

"هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

حسن پورباشی، س.، گلیان، الف و حسن آبادی، الف. (۱۳۹۳). اثر پسمانده کلسیم دار نیروگاه برق مشهد و سطح فسفر جیره بر عملکرد و استحکام استخوان جوجه های گوشتی. *پژوهشهای علوم دامی ایران* ۱(۳):۱۹۶-۱۸۹.

چاکسری، ایمان،، جانمحمدی، ح.، کیانفر، ر و علیایی، م. (۱۴۰۱). ارزیابی زیست فراهمی کلسیم در برخی از کربنات کلسیم های تجاری رایج در تغذیه جوجه های گوشتی. *پژوهشهای تولیدات دامی*: ۱۳: ۳۶): ۳۷-۲۷.

RERERENCES

- Abdi, H., & L. J. Williams. (2010). Tukey's honestly significant difference (HSD) test. *Encyclopedia of research design* 3(1):1-5 .
- Abedini, M., Shariatmadari, F., Karimi Torshizi, M., & Ahmadi, H. (2018). Effects of zinc oxide nanoparticles on the egg quality, immune response, zinc retention, and blood parameters of laying hens in the late phase of production. *Journal of animal physiology and animal nutrition* 102(3):736-745 .
- Ahmadi, H., & Golian, A. (2010). The integration of broiler chicken threonine response data into neural network models. *Poultry Science* 89(11):2535-2541 .
- Ahmadi, H., & Rodehutsord., 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 .
- Al-Harhi, M. A., Attia, Y. A., El-Shafey, A. S., & Elgandy., M. F. (2020). Impact of phytase on improving the utilization of pelleted broiler diets containing olive by-products. *Italian Journal of Animal Science* 19(1):310-318 .
- Bai, S ., Yang, Y., Ma, X., Liao, X., Wang, R., Zhang, L., Li, S., Luo, X., & Lu, L. (2022). Dietary calcium requirements of broilers fed a conventional corn-soybean meal diet from 1 to 21 days of age. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 13(1):1-12 .
- Baiz, A. A., Ahmadi, H., Shariatmadari, F., & Torshizi, M. A. K. (2020). A Gaussian process regression model to predict energy contents of corn for poultry. *Poultry Science* 99(11):5838-5843 .
- Behroozlak, M., Daneshyar, M., & Farhomand, P. (2020). The effects of dietary iodine and its consumption duration on performance, carcass characteristics, meat iodine, thyroid hormones, and some blood indices in broiler chickens. *Journal of animal physiology and animal nutrition* 104(3):876-885 .
- Chaksari, I., Janmohammadi, H., Kianfar, R., & Olyae, M. (2022). Evaluation of Calcium Bioavailability of some Common Commercial Calcium Carbonates and its Effect on Bone Function and Physical and Chemical Properties in Broilers. *Research On Animal Production*. 13(36), 27-37 .(in Persian)
- Denli, M., Okan, F., & Doran, F. (2004). Effect of conjugated linoleic acid (CLA) on the performance and serum variables of broiler chickens intoxicated with aflatoxin B1. *South African Journal of Animal Science* 34(2):97-103 .
- Driver, J., Pesti, G., Bakalli, R., & Edwards Jr, H. (2006). The effect of feeding calcium-and phosphorus-deficient diets to broiler chickens during the starting and growing-finishing phases on carcass quality. *Poultry Science* 85(11):1939-1946 .
- Ebrahimnezhad, Y., Shivazad, M., Taherkhani, R., & Nazeradl, K. (2008). Effects of citric acid and microbial phytase supplementation on performance and phytate phosphorus utilization in broiler chicks. *The Journal of Poultry Science* 45(1):20-24 .
- Ebrahimzadeh, S., Farhoomand, P., & Noori, K. (2013). Effects of chromium methionine supplementation on performance, carcass traits, and the Ca and P metabolism of broiler

- chickens under heat-stress conditions. *Journal of Applied Poultry Research* 22(3):382-387 .
- El-Katcha, M., Soltan, M. A., & El-Badry, M. (2017). Effect of Dietary Replacement of Inorganic Zinc by Organic or Nanoparticles Sources on Growth Performance, Immune Response and Intestinal Histopathology of Broiler Chicken. *Alexandria Journal for Veterinary Sciences* 55(۲)
- Eler, G., Gomes, A., Trindade, B., Almeida, L., Dilelis., F., Cardoso, V., & Lima., C. (2019). Oregano essential oil in the diet of broilers: performance, carcass characteristics, and blood parameters. *South African Journal of Animal Science* 49(4):753-762 .
- Farhadi, D., Karimi, A., Sadeghi, G., Rostamzadeh, J., & Bedford, M. (2017). Effects of a high dose of microbial phytase and myo-inositol supplementation on growth performance, tibia mineralization, nutrient digestibility, litter moisture content, and foot problems in broiler chickens fed phosphorus-deficient diets. *Poultry Science* 96(10):3664-3675 .
- Golub, E. E., & Boesze-Battaglia, K. (2007). The role of alkaline phosphatase in mineralization. *Current Opinion in Orthopaedics* 18(5):444-448 .
- Gootwine, E., & Brody, T. (1979). The relationship between plasma alkaline phosphatase specific activity and productivity traits in poultry. *Poultry Science* 58(6):1640-1643 .
- Güz, B., Molenaar, R., De Jong, I., Kemp, B., Van Den Brand, H., & Van Krimpen, M. (2019). Effects of dietary organic minerals, fish oil, and hydrolyzed collagen on growth performance and tibia characteristics of broiler chickens. *Poultry Science* 98(12):6552-6563 .
- Hajilari, D., Shargh, M. S., & Ashayerizadeh, O. (2019). Effects of dietary organic and inorganic zinc and copper supplements on performance, footpad dermatitis, carcass characteristics, and blood profile of broiler chickens. *Poultry Science Journal* 7(1):15-23 .
- Hamadache, M., Benkortbi, O., Hanini, S., & Amrane, A. (2017). Application of multilayer perceptron for prediction of the rat acute toxicity of insecticides. *Energy Procedia* 139:37-42 .
- Hasanpourbashi, s., Golian, A., Hasanabadi, A. (2014). Effect of Mashhad power plant Ca-waste and diet phosphorus level on performance and bone strength of broiler chickens. *Iranian Journal of Animal Science Research*. p. 18-2196. (in Persian)
- Hesabi Nameghi, A., Edalatian, O., & Bakhshalinejad, R. (2019). Effects of a blend of thyme, peppermint, and eucalyptus essential oils on growth performance, serum lipid, and hepatic enzyme indices, immune response, and ileal morphology and microflora in broilers. *Journal of animal physiology and animal nutrition* 103(5):1388-1398 .
- Hosseini-Vashan, S., Golian, A., & Yaghobfar, A. (2016). Growth, immune, antioxidant, and bone responses of heat stress-exposed broilers fed diets supplemented with tomato pomace. *International Journal of Biometeorology* 60:1183-1192 .
- Huff, W., Moore Jr, P., Waldroup, P., Waldroup, A., Balog, J., Huff, G., Rath, N., Daniel, T., & Raboy, V. (1998). Effect of dietary phytase and high available phosphorus corn on broiler chicken performance. *Poultry Science* 77(12):1899-1904 .
- Idowu, O., Ajuwon, R., Oso, A., & Akinloye, O. (2011). Effects of zinc supplementation on laying performance, serum chemistry and Zn residue in tibia bone, liver, excreta and eggshell of laying hens. *Poultry Science* 10(3):225-230 .
- Lisboa, P. J., & Taktak, A. F. (2006). The use of artificial neural networks in decision support in cancer: a systematic review. *Neural Networks* 19(4):408-415 .
- Liu, J., Yan, H., Cao, S., Hu, Y., & Zhang, H. (2020). Effects of absorbents on growth performance, blood profiles, and liver gene expression in broilers fed diets naturally contaminated with aflatoxin. *Asian-Australasian journal of animal sciences* 33(2):294 .
- Mishra, S., Swain, R., Behura, N., Das, A., Mishra, A., Sahoo, G., & Dash, A. (2013). Effect of supplementation of organic minerals on the performance of broilers. *Indian Journal of Animal*

- Sciences* 83(12):1335-1339 .
- Nourmohammadi, R., & Khosravinia, H. (2015). Acidic stress caused by dietary administration of citric acid in broiler chickens. *Archives Animal Breeding* 58(2):309-315 .
- Panda, A. K., Rao, S. V. R., Raju, M. V., & Sharma, S. R. (2006). Dietary supplementation of *Lactobacillus sporogenes* on performance and serum biochemical-lipid profile of broiler chickens. *The Journal of Poultry Science* 43(3):235-240 .
- Pourakbari, M., Seidavi, A., Asadpour, L., & Martínez, A. (2016). Probiotic level effects on growth performance, carcass traits, blood parameters, cecal microbiota, and immune response of broilers *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 88:1011-1021 .
- Qin, S., Zhang, L., Ma, F., Che, Y., Wang, H., & Shi, Z. (2020). Dietary zinc and growth, carcass characteristics, immune responses, and serum biochemistry of broilers. *Animal Production Science* 60 .۸۱۵-۸۲۲:(۶)
- Reichmann, K., & Connor, J. (1977) . Influence of dietary calcium and phosphorus on metabolism and production in laying hens. *British Poultry Science* 18(6):633-640 .
- Saei, M. M., Sadeghi, A. A., & Ahmadvand, H. (2013). The effect of *Myrtus communis* oil extract on growth performance, serum biochemistry, and humoral immune responses in broiler chicks fed a diet containing aflatoxin B1. *Archives Animal Breeding* 56(1):842-850 .
- Saminathan, M., Selamat, J., Abbasi Pirouz, A., Abdullah, N., & Zulkifli., I. (2018). Effects of nano-composite adsorbents on the growth performance, serum biochemistry, and organ weights of broilers fed with aflatoxin-contaminated feed. *Toxins* 10(9):345 .
- Schoppet, M., & Shanahan., C. (2008). Role of alkaline phosphatase as an inducer of vascular calcification in renal failure? *Kidney International* 73(9):989-991 .
- Sheikhhasan, B. S., Moravej, H., Shivazad, M., Ghaziani, F., Esteve-Garcia, E., & Kim, W. K. (2020). Prediction of the total and standardized ileal digestible amino acid contents from the chemical composition of soybean meals of different origins in broilers. *Poultry Science* 99(10):4947-4957 .
- Sherif, K. E. (2009). Performance of broiler chicks fed plant protein diets supplemented with commercial enzymes. *Journal of Animal and Poultry Production* 34(4):2819-2834 .
- Tu, J. V. (1996). Advantages and disadvantages of using artificial neural networks versus logistic regression for predicting medical outcomes. *Journal of Clinical Epidemiology* 49(11):1225-1231 .
- Varmaghany, S., Rahimi, S., Torshizi, M .K., Lotfollahian, H., & Hassanzadeh, M. (2013). Effect of olive leaves on ascites incidence, hematological parameters and growth performance in broilers reared under standard and cold temperature conditions. *Animal Feed Science and Technology* 18 .69-60:(2-1)
- Viveros, A., Brenes, A., Arija, I., & Centeno, C., (2002). Effects of microbial phytase supplementation on mineral utilization and serum enzyme activities in broiler chicks fed different levels of phosphorus. *Poultry Science* 81(8):1172-1183 .
- Vu, H. L., Ng, K. T. W., Richter, A., & An, C., (2022). Analysis of input set characteristics and variances on k-fold cross-validation for a Recurrent Neural Network model on waste disposal rate estimation. *Journal of Environmental Management* 311:114869 .
- Wang, C., Wang, M., Ye, S., Tao, W., & Du, Y. (2011). Effects of copper-loaded chitosan nanoparticles on growth and immunity in broilers. *Poultry Science* 90(10):2223-2228 .
- Whittow, G. C. (1999). *Sturkie's avian physiology*. london. Academic press. *Elsevier*.
- Zhang, L., He, T., Hu, J., Li, M., & Piao, X., (2020). Effects of normal and low calcium and phosphorus levels and 25-hydroxycholecalciferol supplementation on performance, serum

antioxidant status, meat quality, and bone properties of broilers. *Poultry Science* 99(11):5663-5672 .

Zhang ,Q., Chang, C., Chu, Q., Wang, H., Zhang, J., Yan, Z., Song, Z., & Geng, A. (2023). Dietary calcium and non-phytate phosphorus levels affect the performance, serum biochemical indices, and lipid metabolism in growing pullets. *Poultry Science* 102(2):102354 .

Żyła, K., Koreleski, J., Świątkiewicz, S., Ledoux, D., & Piironen, J. (2001). Influence of supplemental enzymes on the performance and phosphorus excretion of broilers fed wheat-based diets to 6 weeks of age. *Animal Feed Science and Technology* 89(1-2):113-118 .