Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Research on Animal Production, Vol. 16, Issue 4, 2025 p: 104-121

OPEN ACCESS

Research Paper

Determination of Optimal Crude Protein and Amino Acid Levels and their Effects on Growth Characteristics, Blood Biochemical Indices, Immune Response, and Intestinal Morphology of Arian Broiler Chickens

Forough Shahsavani[1], Seyyed Javad Hosseini-Vashan[2], Seyyed Homayoun Farhangfar[3], and Seyyed Ehsan Ghiasi[4]

1- Ph.D. Student, Department of Animal Science, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Associate Professor, Department of Animal Science, University of Birjand, Birjand, Iran, (Corresponding author: jhosseiniv@birjand.ac.ir)
3- Professor, Department of Animal Science, University of Birjand, Birjand, Iran
4- Associate Professor, Department of Animal Science, University of Birjand, Birjand, Iran

Received: 09 April, 2025 Revised: 25 July, 2025 Accepted: 18 August, 2025

Extended Abstract

Background: One of the major issues in the poultry industry is the continuous increase in the production of animal protein. In recent decades, the challenge of increasing the growth rate and body weight of birds at an early age has been a focus for poultry husbandry. On the other hand, the rising costs of poultry feed in recent years, especially the high price of soybean meal, the most accessible and common protein source in poultry feed, have made this challenge even more difficult. Advances in poultry diet formulation and the inefficiency of using crude protein to balance broiler diets have led to the use of more precise criteria, such as ideal amino acids or digestible amino acids in diet formulation, reducing feed costs and ensuring the necessary nutrients for poultry. Providing essential amino acids, particularly limiting amino acids, along with sufficient levels of crude protein, can enhance production efficiency and reduce environmental risks from excess nitrogen excretion. This study aimed to determine the optimal level of crude protein and the effects of various levels of amino acids (methionine, lysine, valine, and arginine) on growth characteristics, blood biochemical indices, immune response, and intestinal morphology in Arian broiler chickens.

Methods: This experiment was conducted using 540 one-day-old Arian broiler chickens in a completely randomized design with a 3×3 factorial arrangement, comprising nine treatments, five replicates, and 12 chicks per replicate. Digestible amino acid coefficients of feed ingredients were evaluated based on theNRC tables. The experimental birds were fed diets with the same metabolizable energy, three levels of crude protein (CP) (90, 95, and 100 percent), and three levels of total amino acids (TAA) (90, 95, and 110 percent), based on the recommendations of the Arian breeding guide, over 4 periods: starter (1-14 days), grower (15-24 days), finisher 1 (25-35 days), and finisher 2 (36-42 days). On day 42, two chicks were randomly selected from each replicate to collect blood samples from each, and then they were slaughtered for carcass trait measurements. Serum and plasma samples were centrifuged, transferred to sterile microtubes, stored at -20 °C, and sent to the laboratory for measuring immune response and blood biochemical indices. The concentrations of cholesterol, triglycerides, LDL, HDL, total protein, albumin, creatinine, uric acid, and activities of alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase were determined using biochemical kits and an automatic spectrophotometer (Jason Chem 200). To examine intestinal morphology, a 1-cm section of the jejunum was cut, washed with saline, and stored in 10 percent formalin for 24 h. The formalin solution was then replaced, and the samples were sent to the laboratory for slide preparation. Statistical analysis of the data was performed using SAS software, a general linear model, and a 3*3 factorial design in a completely randomized design, with mean comparisons based on Tukey's multiple range test at a significance level of 0.05.

Results: In all four rearing periods, the interaction of recommended protein levels (100 percent) with AA levels, particularly at 100 percent amino acids, resulted in the highest body weight ($P < 0.05$). In the starter, finisher 1, and overall periods (0-42 days), daily body weight gain and feed intake were affected by the experimental treatments ($P < 0.05$). The treatment containing 100 percent CP and 110 percent AA resulted in the highest body weight gain and feed intake during the entire rearing period (0-42 days; $P < 0.05$). The 100 percent CP and 110 percent AA treatment led to a reduction in the feed conversion ratio in the starter period ($P < 0.05$). The

Copyright ©2025. Shahsavani et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

interactions of CP and amino acids significantly affected breast, thigh, and proventriculus relative weights ($P < 0.05$). The experimental treatments significantly influenced albumin, total protein, and triglyceride concentrations as compared to the control ($P < 0.05$). Reducing CP levels and increasing amino acid levels led to an increase in the lengths of the duodenum, jejunum, ileum, and cecum ($P < 0.05$). The interaction of protein and amino acid levels significantly affected villus height, villus width, crypt depth, and the villus cross-sectional area ($P < 0.05$). The treatment containing 100 percent protein and 110 percent amino acids presented the highest European Production Efficiency Factor (EPEF) throughout the rearing period ($P < 0.05$).

Conclusion: Based on the experimental results, the optimal protein level for Arian broiler chickens is the recommended level (100 percent). However, reducing protein levels and increasing amino acid levels improved some growth characteristics, blood biochemical indices, and intestinal morphology. On the other hand, different protein and amino acid levels did not affect the immune response.

Keywords: Arginine, Arian, Broiler chicken, European Production Efficiency, Valine

How to Cite This Article: Shahsavani, F., Hosseini-Vashan, S. J., Farhangfar, S. H., & S. E., Ghiasi. (2025). Determination of Optimal Crude Protein and Amino Acid Levels and their Effects on Growth Characteristics, Blood Biochemical Indices, Immune Response, and Intestinal Morphology of Arian Broiler Chickens. *Res Anim Prod,* 16(4), 104-121. DOI: 10.61882/rap.2025.1492

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

تعیین مناسب‌ترین سطوح پروتئین خام و اسیدهای آمینه و اثر آن‌ها بر خصوصیات رشد، شاخص‌های بیوشمیایی خون، پاسخ ایمنی و ریخت‌شناسی روده جوجه گوشتی آرین

فروغ شاهسونی[۱]، سید جواد حسینی واشان[۲]، سید همایون فرهنگ‌فر[۳] و سید احسان غیاثی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران، (نویسنده مسوول: jhosseiniv@birjand.ac.ir)
۳- استاد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران
۴- دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷
صفحه ۱۰۴ تا ۱۲۱

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: یکی از مسائل مهم در صنعت طیور افزایش مداوم حجم تولید است. در دهه‌های اخیر، چالش افزایش سرعت رشد و وزن بدن پرنده در سنین پایین مورد توجه پرورش‌دهندگان طیور قرار گرفته است. از طرفی، افزایش هزینه‌های خوراک طیور در سال‌های جاری، به‌خصوص قیمت بالای کنجاله سویا، در دسترس‌ترین و رایج‌ترین منبع پروتئینی خوراک طیور، این چالش را سخت‌تر می‌کند. با پیشرفت جیره‌نویسی در تغذیه طیور و ناکارآمدی روش استفاده از پروتئین خام در متوازن نمودن جیره جوجه‌های گوشتی، از معیارهای دقیق‌تری مانند اسیدآمینه ایده‌آل یا اسیدآمینه گوارش‌پذیر در جیره‌نویسی، باعث کاهش هزینه خوراک و اطمینان از مواد مغذی مورد نیاز برای طیور شده است. تأمین اسیدهای آمینه ضروری به‌ویژه اسیدهای آمینه محدودکننده همزمان با تأمین سطوح کافی پروتئین خام می‌تواند در افزایش راندمان تولید و کاهش خطرات زیست‌محیطی ناشی از دفع نیتروژن مازاد، مفید باشد. هدف از این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین سطح پروتئین خام و اثر سطوح مختلف اسیدهای‌آمینه (متیونین، لیزین، والین و آرژنین) بر خصوصیات رشد، شاخص‌های بیوشمیایی خون، پاسخ ایمنی و ریخت‌شناسی روده جوجه گوشتی سویه آرین بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش با تعداد ۵۴۰ قطعه جوجه گوشتی یک‌روزه سویه تجاری آرین در قالب طرح کاملا تصادفی با آرایش فاکتوریل ۳×۳ با نه تیمار، پنج تکرار و در هر تکرار ۱۲ قطعه جوجه انجام شد. ضرایب اسیدهای آمینه گوارش‌پذیر اقلام خوراک براساس جداول انجمن ملی تحقیقات مورد ارزیابی قرار گرفتند. پرندگان آزمایشی با جیره‌های خوراک دارای سطح یکسان انرژی سوخت و ساز، سه سطح پروتئین خام (۹۰ و ۹۵ و ۱۰۰ درصد) و سه سطح اسیدهای آمینه کل (۹۰، ۹۵ و ۱۱۰) درصد، اسیدهای آمینه کل بر اساس توصیه راهنمای پرورش سویه آرین در قالب چهار دوره آغازین (۱-۱۴ روزگی)، رشد (۲۴-۱۵ روزگی)، پایانی یک (۳۵-۲۵ روزگی) و پایانی دو (۴۲-۳۶ روزگی) تغذیه شدند. در روز ۴۲ پژوهش، تعداد دو جوجه از هر تکرار به‌صورت تصادفی انتخاب، نمونه‌خون از هر کدام جمع‌آوری و سپس کشتار شدند و صفات لاشه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. نمونه‌های سرم و پلاسمای خون نیز بعد از سانتریفیوژ و انتقال به میکروتیوب استریل در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و به آزمایشگاه جهت اندازه‌گیری پاسخ ایمنی و شاخص‌های خونی منتقل شدند. غلظت‌های تری‌گلیسرید، پروتئین تام، آلبومین، کراتینین، اوره و فعالیت آنزیم‌های آلانین آمینوترانسفراز و آسپارتات آمینوترانسفراز تعیین شدند. جهت بررسی ریخت‌شناسی روده، یک سانتی‌متر از ناحیه ژژنوم برش داده، در محلول فرمالین ۱۰ درصد نگهداری و سپس به آزمایشگاه جهت تهیه اسلاید منتقل شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS، مدل عمومی خطی، آزمایش فاکتوریل ۳×۳ و طرح کاملا تصادفی استفاده و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها: در هر چهار دوره پرورش، برهم‌کنش سطح توصیه‌شده پروتئین (سطح ۱۰۰ درصد) با سطوح AA به‌خصوص سطح ۱۰۰ درصد اسیدهای‌آمینه بیشترین وزن بدن را داشت ($P < ۰/۰۵$). در دوره آغازین، پایانی۱ و کل دوره (۰-۴۲ روزگی)، افزایش وزن روزانه بدن و مصرف خوراک تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند ($P < ۰/۰۵$). تیمار حاوی سطح ۱۰۰ درصد Cp و سطح ۱۱۰ درصد AA بیشترین افزایش وزن بدن و مصرف خوراک را در کل دوره پرورش (۴۲-۰ روزگی) داشت ($P < ۰/۰۵$). تیمار آزمایشی سطح ۱۰۰ درصد Cp و سطح ۱۱۰ درصد AA موجب کاهش ضریب تبدیل خوراک در دوره آغازین شد ($P < ۰/۰۵$). اثرات متقابل Cp و اسیدهای‌آمینه اثر معنی‌داری بر وزن سینه، ران و پیش‌معده داشتند ($P < ۰/۰۵$). تیمارهای آزمایشی بر غلظت‌های آلبومین، پروتئین‌کل و تری‌گلیسرید تاثیر معنی‌داری داشتند ($P < ۰/۰۵$). کاهش سطح Cp و افزایش سطح اسیدهای‌آمینه منجر به افزایش طول دئودنوم، ژژنوم، ایلئوم و روده کور شدند ($P < ۰/۰۵$). برهم‌کنش سطح پروتئین و اسیدهای‌آمینه بر ارتفاع پرز، عرض پرز، عمق کریپت و سطح مقطع پرز اثر معنی‌داری داشت ($P < ۰/۰۵$). تیمار آزمایشی حاوی سطح پروتئین ۱۰۰ درصد و سطح اسیدهای‌آمینه ۱۱۰ درصد در کل دوره پرورش بیشترین شاخص کارایی تولید اروپایی را داشت ($P < ۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج آزمایش، مناسب‌ترین سطح پروتئین‌خام در جوجه گوشتی سویه آرین سطح توصیه‌شده (۱۰۰ درصد) است، ولی کاهش سطح پروتئین‌خام و افزایش سطح اسیدهای‌آمینه منجربه بهبود وزن بدن و افزایش وزن سینه، کاهش غلظت تری‌گلیسرید خون و افزایش طول روده شد. از طرفی، سطوح مختلف پروتئین خام و اسیدهای‌آمینه بر پاسخ ایمنی موثر نبودند.

واژه‌های کلیدی: آرژنین، تولید اروپایی، جوجه گوشتی، سویه آرین، شاخص کارآیی والین

مقدمه

امروزه صنعت طیور از پیشرفت‌های تجهیزاتی و علمی چشم‌گیری در عرصه جهانی برخوردار است (Mottet & Tempio, 2017). پرورش جوجه گوشتی به‌عنوان بخش مهم صنعت طیور، در حال افزایش مداوم حجم تولید است (Havenstein, 2003). در طی دهه‌های اخیر، چالش افزایش سرعت رشد و وزن بدن پرنده در سنین پایین مورد توجه پرورش‌دهندگان طیور قرار گرفته است (Aletor *et al.*, 2016). از طرفی، افزایش هزینه‌های خوراک طیور در سال‌های جاری، به‌خصوص قیمت بالای کنجاله سویا، در دسترس‌ترین و رایج‌ترین منبع پروتئینی جیره خوراک طیور، این چالش را سخت‌تر می‌کند (Dairo *et al.*, 2010). ایجاد محدودیت‌های زیستی به‌طور هم زمان سبب نگرانی‌های زیست‌محیطی فزآینده‌ای برای کاهش دفع نیتروژن و میزان

کربن از تولیدات حیوانی وجود دارند (Fiola, 2008). با توجه به گنجاندن ۲۵۰ گرم بر کیلوگرم کنجاله سویا در جیره خوراک و نسبت تبدیل ۱: ۲/۲۵ خوراک به وزن لاشه، برای تولید یک کیلوگرم گوشت مرغ به ۵۶۰ گرم کنجاله سویا نیاز است (Selle *et al*., 2020). محققان نشان دادند که مکمل‌های اسیدآمینه در جیره کم پروتئین به‌طور قابل‌توجهی باعث کاهش دفع نیتروژن در مقایسه با هر دو جیره سطح کم پروتئین بدون اسیدآمینه و سطح بالای اسیدآمینه شدند که با کاهش بالقوه میزان تولید نیتروژن در پرورش طیور پیامدهای مثبتی برای پایداری محیطی دارد (Macelline *et al*., 2020). از طرفی، جیره‌های جوجه‌های گوشتی بر پایه کنجاله ذرت و سویا، با کمبود اسیدهای آمینه محدودکننده متیونین (Met)، لیزین (Lys)، ترئونین (Thr)، والین (Val) و آرژنین (Arg) روبرو هستند تا احتیاجات جوجه‌های گوشتی را برآورده کنند. به‌دلیل این محدودیت، افزودن مکمل اسیدهای آمینه ضروری در جیره خوراک جوجه‌های گوشتی برای دستیابی به عملکرد مطلوب ضروری است (Toprak *et al*., 2021).

برخی از پژوهش‌های اخیر روی تأثیر چهارمین و پنجمین اسیدآمینه محدودکننده در جیره جوجه‌های گوشتی متمرکز شده‌اند (Berres *et al*, 2010). والین به‌عنوان چهارمین اسیدآمینه محدودکننده پس از اسیدهای آمینه گوگرددار Lys و Thr در جیره‌های بر پایه ذرت و سویا پیشنهاد شده است (Golzar Adabi *et al*., 2019). محققان بیان کردند که با حفظ نسبت‌های مناسب Val و Ile به Lys، به‌ترتیب، ۷۵ و ۶۵ درصد یا ۷۰ و ۶۸ درصد در جیره رشد پرنده با استفاده از اسیدهای‌آمینه مصنوعی منجر به بهبود افزایش وزن بدن و عملکرد رشد کلی بدون تأثیر منفی بر مرگ‌ومیر، عملکرد لاشه یا سایر بازده‌های تجاری شد (Berres *et al*., 2010). در طیور، آرژنین (Arg) به‌عنوان اسیدآمینه ضروری و پنجمین اسیدآمینه محدودکننده که در فرآیند رشد بدن، ایمنی و تولیدمثل اهمیت دارد شناخته می‌شود (Fernandez *et al*.,1994; Ball *et al*., 2007; Waguespack *et al*., 2009;). در پرندگان، آرژنین جیره، به‌عنوان پیش‌ساز برای اکسیدنیتریک، کراتین، پرولین، گلوتامات، گلوتامین، ساخت پلی‌آمین به‌عنوان ترشح کننده تحریک تولید هورمون رشد و عامل رشد شبه انسولین عمل می‌کند (Castro *et al*., 2019). با این حال، طیور قادر به ساختن درون‌زاد آرژنین به‌دلیل نداشتن چرخه کامل اوره و فعالیت محدود آنزیم‌های کلیدی مورد نیاز برای ساختن آرژنین نیستند (Uyanga *et al*., 2022). مطالعات نشان دادند که مکمل ال–آرژنین (Arg) جیره در دو سطح ۱/۲۴ تا ۱/۴۴ درصد اثرات مفیدی بر عملکرد رشد، یکپارچگی روده و ریخت‌شناسی جوجه‌های گوشتی، صرف‌نظر از چالش با ایمریا، داشت. این سطوح مکمل Arg می‌تواند برخی از اثرات نامطلوب چالش ایمریا را کاهش دهد و باعث رشد بهتر و بهبود سلامت روده در جوجه‌های گوشتی می‌شود (Castro *et al*., 2020). مطابق با این محققان، با توجه به تولید تجاری اسیدهای‌آمینه به شکل شیمیایی، کاهش درصد پروتئین خام در جیره طیور می‌تواند در کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی موثر باشد (Awad *et al*., 2014).

در پژوهشی، گزارش شد که کاهش سطح پروتئین خام جیره جوجه گوشتی دوره پایانی (۴۹–۲۸ روزگی) از ۱۸ به ۱۵ درصد پروتئین خام و افزودن اسیدهای آمینه شیمیایی متیونین، لیزین، آرژنین، والین و ایزولوسین به جیره بر عملکرد رشد و کیفیت گوشت جوجه گوشتی تحت تنش گرمایی اثر داشت. جوجه‌های تغذیه شده با جیره دارای سطح پروتئین پایین‌تر و مکمل اسیدهای آمینه متیونین، لیزین و جیره‌های متوازن به لحاظ نسبت اسیدهای آمینه باعث بهبود سرعت رشد و کاهش لیپیدهای خونی و کاهش دفع نیتروژن شد (Attia *et al.,* 2020). مکمل کردن جیره خوراک کم CP با AA مصنوعی باعث صرفه‌جویی در هزینه و کاهش دفع نیتروژن شد (Dozier *et al.,* 2008). بنا بر این، مطالعات بیشتری برای کاهش هزینه‌های تغذیه به حداقل سطح از طریق کاهش سطح CP یا کاهش پروتئین خام با مکمل اسیدهای آمینه خالص انجام شدند (Cabel &Walderoup, 1991). با این‌حال، کاهش CP جیره زمانی پیشنهاد می‌شود که پرندگان در معرض شرایط تنش گرمایی متوسطی قرار گیرند (Awad *et al.,* 2019). بر اساس تحقیقات تغذیه ۱۷ در مقابل ۲۴ درصد CP در جیره جوجه‌های گوشتی به‌مدت ۲۱ روز کاهش قابل‌توجهی در افزایش وزن بدن و همچنین افزایش مصرف خوراک، وزن بدن و چربی بطنی را نشان داد (Neto *et al*., 2000). مکلین و همکاران بیان کردند که جیره با سطح کم پروتئین (LP) بدون مکمل اسیدآمینه، عملکرد رشد را مختل کرد، ولی افزودن اسیدهای‌آمینه ضروری کلیدی توانست معیارهای رشد را به سطوح قابل مقایسه، حتی در شرایط بهداشتی ضعیف، با یک جیره خوراک با پروتئین بالا (HP) بازگرداند (Macelline *et al*., 2020). جیره‌های با سطح پایین‌تر پروتئین (۰٪، ۱٪، ۲٪)، زمانی‌که به‌اندازه کافی با اسیدهای آمینه (متیونین، لیزین، ترئونین، والین، آرژنین و تریپتوفان) مکمل شوند، بهره‌وری یا کیفیت لاشه را به‌خطر نمی‌اندازند، اگرچه بر عواملی مانند محتوای چربی‌شکمی و ریخت‌شناسی روده‌ها در هر جنس متفاوت تأثیر می‌گذارند (Hernández-Huesca *et al.*, 2024). کاهش سطح پروتئین جیره تا ۳ درصد به شرط استفاده از مکمل اسیدهای آمینه برای تامین احتیاجات تغذیه‌ای جوجه گوشتی راس منجربه بهبود عملکرد و کاهش دفع نیتروژن می‌شود (Benahmed *et al.,* 2023). آزمایش‌ها و پژوهش‌های زیادی برای کاهش سطح پروتئین خام جیره‌های جوجه‌های گوشتی از اوایل دهه ۲۰۰۰ انجام شده‌اند، و برخی از آن‌ها عملکرد رضایت‌بخشی را نشان ندادند (Saleh *et al*., 2021). از این‌رو، جستجو برای تنظیم جیره‌های با پروتئین خام پایین‌تر همچنان یک مشکل پیچیده است که باید بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. بر اساس مطالعات پیشین، آزمایش ارزیابی مکمل‌کردن اسیدهای آمینه والین و آرژنین در جیره جوجه‌های گوشتی بر پایه اسیدهای آمینه کل برای کاهش پروتئین خام طراحی شد تا اثر کاهش سطح پروتئین خام جیره بر عملکرد رشد، شاخص‌های لاشه، ریخت‌شناسی روده و

شاخص کارآیی تولید در جوجه‌های گوشتی آرین مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سالن تحقیقاتی گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه بیرجند انجام شد. در این آزمایش از ۵۴۰ قطعه جوجه گوشتی یک‌روزه مخلوط دو جنس سویه آرین در دوره ۴۲روزه استفاده شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۳×۳ شامل سه سطح پروتئین خام (۹۰ و ۹۵ و ۱۰۰ درصد) و سه سطح اسیدهای‌آمینه کل (۹۰، ۹۵ و ۱۱۰درصد) با نه تیمار و پنج تکرار اجرا شد. اسیدهای آمینه تجاری مورد نیاز (متیونین، لیزین، والین و آرژنین) از شرکت مرغ نوجان تهیه شدند. ضرایب اسیدهای آمینه گوارش‌پذیر اقلام خوراک بر اساس جداول ترکیبات شیمیایی انجمن ملی تحقیقات (NRC)[1] مورد ارزیابی قرار گرفتند. ضرایب اسیدآمینه کل احتیاجات پرنده بر اساس کاتالوگ آرین و سایر برنامه‌های مدیریتی طبق توصیه‌های شرکت آرین انجام شدند. دمای سالن در بدو ورود جوجه‌ها ۳۳–۳۲ درجه سانتی‌گراد بود که به‌تدریج در پایان دوره به ۲۵ درجه رسید. به محض ورود پرنده به جایگاه پرورش، آب آشامیدنی و دان در دسترس آن‌ها قرار گرفتند. جیره‌های آزمایشی مطابق با احتیاجات تغذیه‌ای سویه‌ی آرین، با توجه به ترکیب‌های مواد مغذی خوراک با انرژی یکسان برای تیمارها و دوره‌های مختلف پرورش (۱۴–۱، ۲۴–۱۵، ۳۵–۲۵، و ۴۲–۳۶ روزگی) بر پایه‌ی ذرت و سویا تهیه شدند و برای تنظیم جیره‌ها از نرم‌افزار UFFDA[2] استفاده شد (جداول ۱ و ۲). در طول دوره آزمایش، شرایط پرورشی شامل برنامه نوری، درجه حرارت و رطوبت مطابق با پیشنهادات سویه آرین اعمال شدند.

در پایان دوره‌های تغذیه‌ای آغازین، رشد، و پایانی ۱ و ۲، باقی‌مانده خوراک جمع‌آوری و توزین شد. جوجه‌های هر تکرار نیز توزین شدند. سپس، میانگین مصرف خوراک، افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک در دوره تعیین شد، برای مطالعه شاخص‌های اجزای لاشه، دو قطعه پرنده از هر تکرار در روز ۴۲ ذبح و مورد تجزیه لاشه قرار گرفتند. وزن‌های لاشه، سینه، ران، قلب، کبد، صفرا، پانکراس، طحال، چربی بطنی، بورس تعیین شدند و سپس وزن نسبی بر اساس وزن زنده محاسبه شد.

به‌منظور تعیین عیار پادتن علیه گلبول قرمز گوسفندی، در روزهای ۲۸ و ۳۵ به‌ترتیب یک میلی‌لیتر سوسپانسیون ۱۰ و ۱۵ درصد گلبول قرمز گوسفندی به دو قطعه پرنده از هر تکرار تزریق شد. در روز ۴۲، از دو جوجه مذکور خون‌گیری شد. نمونه‌های خون (۳ میلی‌لیتر) گرفته‌شده در دو لوله آزمایش که یک لوله حاوی ماده ضدانعقاد خون (EDTA)[3] بود، ریخته شدند. ابتدا، نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شدند، سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ و نمونه‌های سرم و پلاسما بلافاصله بعد از جداسازی درون میکروتیوپ در فریزر تحت دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان تعیین شاخص‌های خونی نگهداری شدند. به‌منظور تعیین عیار پادتن بر ضد SRBC[4] از روش هموگلوتیناسیون استفاده شد و عیار پادتن بر ضد SRBC و عیار ایمنوگلوبین M و G بر ضد SRBC با استفاده از پلیت‌های ۹۶ خانه تعیین شدند (Nelson *et al.*, 1995).

به‌منظور مطالعه شاخص‌های خونی از نمونه‌های پلاسمای خون استفاده شد. غلظت‌های آلبومین، پروتئین کل، لیپیدهای خونی و میزان فعالیت آنزیم آسپارتات آمینوترانسفراز (AST)[5] و آلانین آمینوترانسفراز (ALT)[6] با استفاده از کیت‌های تشخیص کمی شرکت زیست‌شیمی (ایران) و دستگاه اسپکتوفتومتر خودکار (Geasan chem 200,Italy) اندازه‌گیری شدند (Hosseini-Vashan & Piray, 2021).

ریخت‌شناسی روده

پس از ذبح پرنده (دو قطعه از هر تکرار)، قطعه یک سانتی‌متری از قسمت ابتدایی ژژنوم روده جدا شد و محتویات داخل و سطح خارج روده به وسیله‌ی محلول نمکی نرمال ۰/۹ درصد شستشو داده شد. جهت ثابت شدن بافت، نمونه‌ها داخل محلول فرمالین ۱۰ درصد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. پس از آن، به‌منظور ماندگاری طولانی‌مدت نمونه‌ها تا زمان مراحل رنگ‌آمیزی و تهیه‌ی برش‌های بافتی، محلول فرمالین آن‌ها تعویض شد. سپس نمونه‌ها برای تهیه‌ی برش و اندازه‌گیری ریخت‌شناسی بافت روده به آزمایشگاه منتقل شدند. هر نمونه از محور طولی روده بریده شد و در پارافین قرار گرفت. پس از رنگ‌آمیزی با ائوزین و هماتوکسیلین، مقاطع عرضی برش داده شدند و با میکروسکوپ نوری طول پرز، عرض پرز و عمق کریپت اندازه‌گیری شدند (Brudnicki *et al.*, 2017). همچنین، سطح جذبی پرزهای ژژنوم روده با استفاده از رابطه شماره یک محاسبه گردید (Prakatur *et al.*, 2019).

رابطه (۱) سطح جذب = 2 × 3.14 × (میانگین عرض پرز/2) × (میانگین ارتفاع پرزها/1000)

شاخص کارایی تولید اروپایی (EPEF)[7]

جهت ارزیابی سودآوری تولید طیور گوشتی از فرمول EPEF (رابطه شماره ۲) استفاده شد که شامل فاکتورهایی مانند درصد زندمانی، میانگین وزن نهایی، ضریب تبدیل خوراک و تعداد روزی که پرنده در مرغداری حضور دارد، است. این شاخص بیانگر عملکرد درست در مزرعه طیور است و هرچه عدد شاخص از ۲۶۰ بیشتر باشد نشان‌دهنده این است که سود اقتصادی مرغدار قابل قبول است. پایش این فرمول در مرغداری‌های جوجه گوشتی این امکان را می‌دهد که به‌راحتی سودآوری تولید به‌دست آید (Mavromati *et al.*, 2018).

[1] National Research Council
[2] User-friendly Feed Formulation, Don Again
[3] Ethylenediaminetetra-acetic Acid
[4] Sheep Red Blood Cells
[5] Aspartate transaminase
[6] Alanine transaminase
[7] European Production Efficiency Factor

رابطه ۲) $EPEF = \frac{\text{وزن میانگین (گرم)} \times \text{درصد زنده‌مانی}}{\text{تعداد روز پرورش} \times \text{ضریب تبدیل خوراک}} \times 100$

تجزیه آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS استفاده و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون توکی و در سطح معنی‌دار ۰/۰۵ انجام شد. مدل آماری طرح به‌صورت $Y_{ijkl}= \mu+A_i+B_j+(A\times B)_{ijk}+e_{ijkl}$ بود که در این فرمول Y_{ijkl}: مقدار هر مشاهده، μ: میانگین جمعیت، A_i: اثر سطح پروتئین خام، B_j: اثر سطح اسیدهای‌آمینه کل، $(A\times B)_{ijk}$: اثر متقابل پروتئین خام و اسیدهای‌آمینه کل، و e_{ijkl}: اثر خطای آزمایش هستند.

نتایج و بحث

عملکرد رشد

داده‌های مرتبط به تاثیر برهم‌کنش سطوح پروتئین خام (CP) و اسیدهای آمینه کل (AA) بر وزن بدن جوجه گوشتی آرین در جدول۳ نشان داده شده‌اند. در هر چهار دوره پرورش، سطح توصیه‌شده پروتئین (سطح ۱۰۰ درصد) بیشترین وزن بدن را داشت ($P < ۰/۰۵$). در دوره آغازین، به‌جز تیمار سطح ۹۰ درصد پروتیئن خام و سطح ۱۱۰ درصد اسیدهای آمینه و تیمار سطح ۹۵ درصد پروتئین خام و سطح ۹۰ درصد اسیدهای آمینه، سایر تیمارهای آزمایشی منجر به افزایش وزن بدن شدند ($P < ۰/۰۵$). در دوره رشد، بیشترین وزن بدن را تیمار سطح ۱۰۰ درصد CP و سطح ۱۰۰ درصد AA داشت ($P < ۰/۰۵$). بیشترین وزن بدن در ۴۲ روزگی در تیمار حاوی سطح پروتئین ۱۰۰ درصد و اسیدهای آمینه ۱۱۰ درصد و کم‌ترین وزن بدن را تیمار سطح پروتئین ۹۰ درصد و سطح اسیدهای آمینه ۱۱۰ درصد داشتند ($P < ۰/۰۵$). مطابق با جدول ۳، جیره‌های آزمایشی دوره ۱۴ و ۳۵ روزگی تاثیر معنی‌داری بر افزایش وزن بدن نشان دادند ($P < ۰/۰۵$) و سطوح ۱۰۰ و ۹۵ درصد پروتئین به‌ترتیب همراه با سطوح ۱۰۰ و ۱۱۰ درصد اسیدهای آمینه بیشترین افزایش وزن بدن را به‌همراه داشتند ($P < ۰/۰۵$). سطوح مختلف پروتئین خام و اسیدهای آمینه در افزایش وزن دوره رشد و پایانی ۲ تاثیر نداشتند. طبق نتایج جدول ۴، کاهش سطح پروتئین خام جیره به مقدار ۵ و ۱۰ درصد منجر به کاهش مصرف خوراک شد ($P < ۰/۰۵$). برهم‌کنش سطح ۱۰۰ درصد پروتئین و سطوح مختلف اسیدهای آمینه کل در دوره‌های آغازین، پایانی یک و پایانی دو و کل دوره بیشترین مصرف خوراک را داشتند ($P < ۰/۰۵$). به‌ترتیب سطوح ۹۰ و ۹۵ درصد پروتئین و سطوح ۱۱۰ و ۹۰ درصد اسیدهای آمینه کل کاهش مصرف خوراک را نشان دادند ($P < ۰/۰۵$). تیمار آزمایشی سطح ۱۰۰ درصد پروتئین خام و ۱۱۰ درصد اسیدهای آمینه موجب کاهش ضریب تبدیل خوراک در دوره آغازین شد ($P < ۰/۰۵$). برهم‌کنش سطوح مختلف پروتئین خام و اسیدهای آمینه کل در دوره رشد، پایانی یک و پایانی دو، اثر معنی‌داری بر ضریب تبدیل خوراک نشان نداد.

بر اساس نظر محققین، به‌دلیل این که در دوره آغازین احتیاجات پروتئینی پرنده زیاد است، کاهش سطح پروتئین خام جیره درصورت مکمل‌کردن با اسیدهای آمینه منجر به کاهش وزن می‌شود (Liang *et al*., 2023). با این‌حال، برجندال و همکاران (Bregendahl *et al.,* 2002) بیان کردند که کاهش سطح پروتئین جیره حاوی اسیدهای آمینه به‌میزان توصیه‌شده، ظرفیت بهبود عمکرد رشد را مشابه تیمار شاهد حاوی پروتئین توصیه شده نداشت. همچنین، محققین گزارش کردند که اثر متقابل کاهش سطح پروتئین ایده‌آل و افزایش نسبت سطح اسیدآمینه والین به لیزین گوارش‌پذیر بر عملکرد جوجه گوشتی موثر نبود (Salahi Moghaddam & Shahir, 2021). اوسپینا روخاس و همکاران (Ospina-Rojas *et al*., 2014) پیشنهاد کردند که وزن بدن در ۴۲ روزگی تحت تأثیر کاهش سطوح پروتئین جیره خوراک از ۱۹ به ۱۶٪ هنگام افزودن والین، ایزولوسین، آرژنین و گلیسین برای متعادل کردن اسیدهای آمینه قرار نگرفت. مطالعات فوق با یافته‌های سایر محقیقین در رابطه با کاهش سطح پروتئین و مکمل کردن اسیدهای آمینه در جوجه‌های گوشتی (Bezerra *et al* 2016; Van Harn *et al*., 2019; Hilliar *et al*., 2020; Teng *et al*., 2021) و مرغ تخم‌گذار (Alagawany *et al*., 2020Uyanga *et al*., 2022;) مطابقت دارند. آجاو و همکاران (Ajao *et al*., 2024) نیز بیان کردند که کاهش سطح پروتئین جیره از ۱۸/۵ به ۱۶/۵ درصد و مکمل‌کردن آن با اسیدهای آمینه شاخه‌دار و آرژنین منجر به افزایش وزن در جوجه گوشتی کاپ ۵۰۰ شد. توپراک و همکاران (Toprak *et al*., 2021) نشان دادند که با مکمل‌کردن ال-والین به‌تنهایی یا همراه با ال-آرژنین و ایزولوسین با حفظ عمکرد رشد، علاوه‌بر کاهش سطح پروتئین جیره، می‌توان میزان کنجاله سویا را در جیره کاهش داد. همچنین، با تنظیم جیره بر مبنای اسیدهای آمینه می‌توان پروتئین بهینه را به‌دست‌آورد، که با شواهد مطالعه حاضر مطابقت دارد. جیره‌های با سطح پایین‌تر پروتئین (۱۰ درصد کمتر از سطح توصیه‌شده) و حاوی سطوح اسیدهای آمینه بالاتر، به‌دلیل افزایش اسیدهای آمینه در گردش خون، ساخت پروتئین در کبد را تحریک می‌کنند و موجب توقف تجزیه پروتئین می‌شوند، در نتیجه ابقاء اسیدهای آمینه محدودکننده افزایش می‌یابد و اسیدآمینه کمتری برای بافت‌ها تامین می‌شود در حالی‌که ساخت پروتئین در بافت متوقف نمی‌شود. در نهایت، توازن اسیدهای آمینه آزاد ماهیچه و پلاسما به‌هم می‌خورد. اسیدهای آمینه پلاسما با کاهش غلظت بعضی از پیام‌رسان‌های عصبی در مغز روی سیستم تنظیم کننده خوراک تاثیر گذاشته، منجر به کاهش مصرف خوراک و در نتیجه کاهش رشد و عمکرد می‌شوند (Dmello, 2003). همچنین، استفاده از جیره های دارای سطوح پایین‌تر پروتئین و حاوی مکمل اسیدهای آمینه شیمیایی (متیونین، لیزین، ترئونین، والین، آرژنین و تریپتوفان) بر مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک در طی مراحل رشد جوجه گوشتی راس اثر ندارد (Hernández-Huesca *et al.,* 2024).

جدول ۱- اجزای تشکیل دهنده و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی

Table 1. components and chemical compositions of experimental diets

(Treatment) تیمار	جیره آغازین (Starter ration)							جیره رشد (Grower ration)							
(%) ترکیبات خوراک Feedstuff	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
ذرت(Corn)	57.82	63.86	56.65	60.84	61.25	63.13	66.07	64.78	67.54	58.11	58.34	59.78	64.51	63.20	63.90	68.40	67.16	70.27
کنجاله سویا۴۴ درصد (Soybean meal)	29.42	18.56	35.61	30.77	29.0	26.9	24.2	25.64	21.19	34.86	34.82	33.11	28.94	30.60	29.10	24.88	26.74	22.87
گلوتن ذرت (Corn gluten meal)	7.5	13.38	3.17	4.24	5.83	5.0	5.0	5.63	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
روغن سویا (Soybean oil)	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	3.18	2.99	2.68	2.20	2.51	2.14	2.00	2.00	1.50
کربنات کلسیم (Calcium carbonate)	1.43	1.28	1.09	1.11	1.42	1.12	1.13	1.14	1.13	1.28	1.28	1.28	1.29	1.29	1.29	1.30	1.30	1.31
دی‌کلسیم‌فسفات (DI-calcium phosphate)	1.52	1.17	1.79	1.8	1.55	1.82	1.85	1.82	1.87	1.44	1.44	1.46	1.49	1.47	1.49	1.52	1.50	1.53
نمک (Sodium 7hloride)	0.34	0.37	0.2	0.2	0.31	0.2	0.2	0.2	0.3	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
مکمل معدنی و ویتامینی (Supplement vit and min)	0.3	0.30	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3.	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
دی‌ال‌ــ متیونین (DL- methionine)	0.18	0.09	0.31	0.24	0.12	0.37	0.3	0.16	0.43	0.22	0.22	0.33	0.38	1.17	0.38	0.33	0.21	0.45
ال‌ــ والین (L- valin)	0.06	-	0.17	0.12	-	0.27	0.21	0.06	0.36	0.08	0.08	0.20	0.27	0.05	0.27	0.24	0.11	0.37
ال‌ـآرژنین (L- arginine)	-	0.19	-	-	0.04	0.27	0.22	-	0.45	-	-	0.16	0.28	-	0.28	0.27	0.08	0.46
ال‌ــ لیزین (L- lysin)	0.43	0.08	0.42	0.38	0.19	0.61	0.53	0.27	0.72	0.19	0.20	0.36	0.45	0.17	0.45	0.43	0.26	0.60
مواد مغذی محاسبه شده (Calculated nutrients)																		
(kcal/kg) (Metabolisable energy) انرژی سوخت وساز	2900	2900	2900	2900	2920	2959	2960	2958	2988	3020	3020	3020	3020	3020	3020	3020	3020	3020
پروتئین خام (٪) (Crude protien)	22.22	22.22	22.22	21.09	21.09	21.09	19.98	19.98	19.98	20.00	20.00	20.00	19.00	19.00	19.00	18.00	18.00	18.00
کلسیم (٪)(Calcium)	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
فسفرقابل دسترس(٪) (Phosphorus)	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
متیونین سیستئین + کل (Methionine cysteine)	1.0	0.90	1.1	1.0	0.9	1.1	1.0	0.9	1.1	0.92	0.82	1.01	0.92	0.82	1.01	0.92	0.82	1.01
لیزین کل (L_iysin)	1.33	1.19	1.46	1.33	1.19	1.46	1.33	1.19	1.46	1.20	1.08	1.46	1.20	1.08	1.46	1.20	1.08	1.46
والین کل (L- vaalin)	1.03	0.92	1.13	1.03	0.92	1.13	1.03	0.92	1.13	0.94	0.84	1.13	0.94	0.84	1.13	0.94	0.84	1.13
آرژنین کل (L-arginine)	1.41	1.26	1.55	1.41	1.26	1.55	1.41	1.26	1.55	1.28	1.15	1.55	1.28	1.15	1.55	1.28	1.15	1.55

[1] هر کیلوگرم مکمل ویتامینی و مکمل معدنی در خوراک حاوی: ۸۸۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۲۵۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D۳، ۱۱ میلی‌گرم ویتامین E، ۳/۲ میلی‌گرم ویتامین K_3، ۲.۵ میلی‌گرم ویتامین B2، ۸ میلی‌گرم کلسیم پنتوتنات، ۳۵ میلی‌گرم نیاسین و ۱۳ میلی‌گرم بر گرم ویتامین B6، ۰.۵ میلی گرم فولیک اسید، ۰.۰۱ میلی گرم ویتامین B12، ۶ میلی‌گرم مس، ۶۵ میلی‌گرم روی، ۷۵ میلی‌گرم منگنز، ۷۵ میلی‌گرم آهن ۰.۹ میلی گرم ید و ۰/۳ میلی‌گرم پتاسیم است.

The vitamin and mineral premix supplied the following per kilogram of feed : vitamin A: 8800 IU; vitamin D3 : 2500 IU; vitamin E: 11 IU; vitamin K: 2.2 mg; vitamin B6 : 2.5 mg; vitamin B12: 0.01 mg; Niacin: 35 mg; Pantothenic acid: 8 mg; Folic acid: 0.5 mg; Choline: 50 mg. Mn: 75 mg; Fe: 75 mg; Zn: 65 mg; Cu: 6 mg; Se: 0.2 mg; Cu: 6 mg, Iodine: 0.9 mg and Potasuim 0.3 mg

جدول ۲- اجزای تشکیل دهنده و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی

Table 2. components and chemical compositions of experimental diets

تیمار(Treatment)	پایانی ۱ (Fnisher ration1)									پایانی ۲ (Fnisher ration2)								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
ترکیبات خوراک(%) Feedstuff																		
ذرت (Corn)	60.43	61.46	63.35	63.61	62.88	64.72	66.87	65.81	67.98	65.64	65.17	66.63	68.90	68.23	70.30	72.59	71.31	73.94
کنجاله سویا۴۴ درصد (Soybean meal)	31.00	29.90	29.02	27.51	28.70	25.82	23.92	25.48	22.23	27.47	28.10	26.27	24.40	25.26	22.57	20.87	22.39	19.26
گلوتن ذرت (Corn gluten meal)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
روغن سویا (Soybean oil)	5.00	5.00	3.49	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	3.30	3.46	3.07	2.89	3.08	2.60	2.42	2.70	2.13
کربنات کلسیم (Calcium carbonate)	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.30	1.30	1.30	1.30	1.17	1.16	1.17	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18	1.19
دی‌کلسیم‌فسفات (DI-calcium phosphate)	1.24	1.25	1.25	1.27	1.26	1.28	1.28	1.28	1.31	1.26	1.26	1.27	1.28	1.28	1.30	1.31	1.30	1.32
نمک (Sodium chloried)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35
مکمل معدنی و ویتامینی (Supplement vit and min)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
دی‌ال‌ــ متیونین (DL- methionine)	019	0.12	0.30	0.23	0.13	0.34	0.28	0.23	0.39	0.20	0.10	0.30	0.23	0.14	0.27	0.27	0.17	0.38
ال‌ــ والین (L- valin)	0.07	-	0.19	0.13	0.02	0.25	0.19	0.07	0.31	0.08	-	0.19	0.13	0.03	0.25	0.19	0.08	0.30
ال‌ـآرژنین (L- arginine)	-	0.29	1.17	0.90	-	0.27	0.20	0.03	0.38	-	-	0.09	0.03	-	0.19	0.14	-	0.30
ال‌ــ لیزین (L- lysin)	0.19	0.10	0.34	0.27	0.13	0.42	0.35	0.20	0.51	0.28	0.15	0.43	0.35	0.22	0.51	0.44	0.29	0.59
مواد مغذی محاسبه شده (Calculated nutrients)																		
انرژی سوخت وساز (Metabolisable energy) (kcal/kg)	3146	3168	3100	3190	3190	3206	3216	3202	3232	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100
پروتئین خام (٪) (Crude protien)	18.50	18.50	18.50	17.57	17.57	17.57	16.65	16.65	16.65	17.50	17.50	17.50	16.62	16.62	16.62	15.75	15.75	15.75
کلسیم(٪) (Calcium)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
فسفرقابل دسترس (٪) (Phosphorus)	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
متیونین سیستئین + کل (Methionine cysteine)	0.85	0.73	0.93	0.85	0.73	0.93	0.85	0.73	0.93	0.82	0.73	0.90	0.82	0.73	0.90	0.82	0.73	0.90
لیزین کل (L_iysin)	1.10	0.93	1.21	1.10	0.93	1.21	1.10	0.93	1.21	1.04	0.93	1.14	1.04	0.93	1.14	1.04	0.93	1.14
والین کل (L- vaalin)	0.87	0.74	0.95	0.87	0.74	0.95	0.87	0.74	0.95	0.83	0.74	0.91	0.83	0.74	0.91	0.83	0.74	0.91
آرژنین کل (L-arginine)	1.18	1.00	1.29	1.18	1.00	1.29	1.18	1.00	1.29	1.12	1.00	1.23	1.12	1.00	1.23	1.12	1.00	1.23

[۱] هر کیلوگرم مکمل ویتامینی و مکمل معدنی در خوراک حاوی: ۸۸۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۲۵۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D۳، ۱۱ میلی‌گرم ویتامین E، ۳/۲ میلی‌گرم ویتامین K3، ۲.۵ میلی‌گرم ویتامین B2، ۸ میلی‌گرم کلسیم پنتوتنات، ۳۵ میلی‌گرم نیاسین و ۱۳ میلی‌گرم بر گرم ویتامین B6، ۰.۵ میلی گرم فولیک اسید، ۰.۰۱ میلی گرم ویتامین B12، ۶ میلی‌گرم مس، ۶۵ میلی‌گرم روی، ۷۵ میلی‌گرم منگنز، ۷۵ میلی‌گرم آهن ۰.۹ میلی گرم ید و ۰/۳ میلی‌گرم پتاسیم است.

The vitamin and mineral premix supplied the following per kilogram of feed : vitamin A: 8800 IU; vitamin D3 : 2500 IU; vitamin E: 11 IU; vitamin K: 2.2 mg; vitamin B6 : 2.5 mg; vitamin B12: 0.01 mg; Niacin: 35 mg; Pantothenic acid: 8 mg; Folic acid: 0.5 mg; Choline: 50 mg. Mn: 75 mg; Fe: 75 mg; Zn: 65 mg; Cu: 6 mg; Se: 0.2 mg; Cu: 6 mg and Iodine: 0.9 mg

در توافق با یافته‌های تحقیق حاضر، محققان بیان کردند که کاهش سطح پروتئین جیره بدون مکمل AA منجر به کاهش عملکرد در طیور شد (Kamran *et al*., 2004 ; Kriseldi *et al*., 2018; De Cesare *et al*., 2019; Hilliar *et al*.,2020; Liang *et al*., 2023). همچنین، با مکمل‌کردن کل اسیدهای آمینه یا اسیدهای آمینه محدودکننده در جیره جوجه غازها با جیره حاوی ۱۵/۵۵ درصد پروتئین اثر نامطلوبی بر عملکرد رشد نسبت به تیمار شاهد حاوی ۱۸/۵۵ درصد پروتئین مشاهده شد (Liang *et al*., 2023). علاوه بر این، جیره خوراک پایه جوجه‌های گوشتی راس ۳۰۸ در مقایسه با کاهش ۷ درصد سطح پروتئین جیره خوراک و افزودن سه اسیدآمینه مصنوعی (متیونین، لیزین و ترئونین) بر افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک و درصد زنده‌مانی تأثیر نداشت (De Cesare *et al*., 2019). این محققان چنین نتیجه‌گیری می‌کنند که پرنده‌هایی که با جیره‌های حاوی سطوح پایین‌تر پروتئین تغذیه می‌شوند توانایی تنظیم میزان مصرف خوراک را به‌گونه‌ای که کمبود پروتئین جبران شود ندارند. پژوهشگران دریافتند که تنوع در نتایج عملکرد تولیدی به عوامل مختلفی از جمله تفاوت در خطوط ژنتیکی پرندگان، سن پرنده و غلظت مواد مغذی استفاده شده در توازن جیره‌ها بستگی دارد. علاوه بر این، متغیرهای دیگر فرآیند گوارش‌پذیری، مانند سرعت گوارش پروتئین‌ها و نرخ جذب پپتیدهای تری‌پپتید و آمینواسیدهای آزاد، در جیره‌های حاوی سطوح پایین‌تر پروتئین در مقایسه با جیره‌های استاندارد متفاوت هستند (Chrystal *et al*., 2020).

جدول ۳- تأثیرسطوح پروتئین‌خام و اسیدهای‌آمینه بر عملکرد وزن بدن (گرم) جوجه گوشتی آرین
Table 3. The effect of crude protein and amino acid levels on the body weight performance (grams) of Arian broilers

	تیمارها Treatments			وزن بدن (گرم) Body weight (g)						افزایش وزن بدن (گرم) Body weight gain (g)		
				۱روزگی	۱۴ روزگی	۲۴ روزگی	۳۵ روزگی	۴۲ روزگی	۱۴-۱روزگی	۲۴-۱۴ روزگی	۳۵-۲۴ روزگی	۴۲-۳۵ روزگی
اثرات اصلی Main effects	پروتئین خام Crude protein	90%		36.10	347.0 ^{ab}	807.21 ^{b}	1272.3 ^{b}	1947.5 ^{b}	310.9 ^{ab}	460.20	465.13	678.40
		95%		36.10	337.02 ^{a}	794.09 ^{b}	1343.7 ^{b}	2000.3 ^{b}	300.92 ^{b}	457.07	549.67	653.36
		100%		36.07	367.40 ^{a}	883.53 ^{a}	1430.1 ^{a}	2164.1 ^{a}	331.33 ^{a}	516.12	546.54	734.08
	P-value			0.9403	0.0078	0.0021	0.0001	0.0001	0.0077	0.0153	0.0320	0.1631
	اسیدآمینه کل Total amino acid	90%		36.12	341.04	814.93	1343.69	2069.4	304.91	473.89	528.75	690.49
		100%		36.12	363.19	841.92	1379.76	2043.3	327.06	478.73	537.84	679.70
		110%		36.02	347.20	827.98	1322.72	1999.3	311.17	480.78	494.75	695.72
	P.value			0.3127	0.0605	0.5680	0.2327	0.2841	0.0607	0.9482	0.4351	0.9283
	SEM			0.0558	0.5615	17.8015	23.4122	31.0143	0.5567	15.3141	24.6112	0.9128
اثرات متقابل پروتئین و اسید آمینه Interaction effects of Cp and AA	پروتئین خامCP × اسیدهای‌آمینه کل TAA											
	100	100		36.10	372.00 ^{a}	864.33^{a}	1473.1 ^{a}	2133.3^{ab}	335.90 ^{a}	509.00	592.09 ^{a}	660.24
	90	100		36.13	377.82 ^{a}	888.13^{a}	1419.1^{ab}	2146.1^{ab}	341.69 ^{a}	510.31	530.96 ^{b}	726.98
	110	100		35.99	352.40 ^{a}	881.46^{a}	1398 ^{ab}	2213.1 ^{a}	316.40 ^{a}	529.06	516.58 ^{b}	815.02
	100	95		36.08	368.56 ^{a}	868.8^{a}	1395.1^{ab}	2044.2 ^{abc}	332.47 ^{a}	500.26	526.3 ^{ab}	649.07
	90	95		36.10	248.51 ^{b}	729.46^{b}	1254.7^{bc}	1984.4 ^{abc}	248.41 ^{b}	444.94	525.2 ^{ab}	729.77
	110	95		36.10	358.00 ^{a}	784.0 ^{ab}	1381.5^{ab}	1972.2 ^{abc}	321.88 ^{a}	426.00	597.52 ^{a}	590.73
	100	90		36.02	349.02 ^{a}	775.94^{ab}	1271.1^{ab}	1952.5^{bc}	312.82 ^{a}	426.92	495.1 ^{ab}	681.42
	90	90		36.15	360.80 ^{a}	827.2 ^{ab}	1357 ^{abc}	2077.6^{ab}	324.65 ^{a}	466.41	530.1 ^{ab}	720.27
	110	90		35.95	331.2 ^{ab}	795.14^{ab}	1188.6 ^{c}	1812.6 ^{c}	295.2 ^{ab}	478.27	370.16 ^{b}	624.01
	P.value			0.7539	0.0001	0.0022	0.003	0.0003	0.0001	0.0635	0.0361	0.1334
	SEM			0.0967	11.3649	25.1783	40.5512	53.7184	11.3565	26.5249	42.6270	51.8105

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری دارند ($p < ۰/۰۵$).
Means with different superscripts within each column differ significantly ($p < 0.05$).

شاخص کارایی تولید

بر اساس مطالعه حاضر (جدول ۴)، برای ارزیابی اقتصادی، شاخص کارایی تولید اروپایی بررسی شد. این شاخص در کل دوره تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت ($P < ۰/۰۵$) و سطح ۱۰۰ درصد پروتئین خام و سطح ۱۱۰ درصد اسیدهای آمینه کل، عدد شاخص کارایی تولید ۲۶۰ را در پی داشت ($P < ۰/۰۵$) که سود تولید قابل قبول برای یک مرغداری است (Mavromati *et al*., 2018). شاخص تولید با کاهش سطح پروتئین‌خام جیره خوراک کاهش یافت ($P < ۰/۰۵$) که به‌دلیل کاهش وزن بدن، افزایش ضریب تبدیل خوراک، عدم توازن پروتئین، سطوح اسیدهای آمینه و انرژی است.

جدول ۴- تأثیر سطوح پروتئین خام و اسیدهای آمینه بر مصرف خوراک (گرم)، ضریب تبدیل خوراک و شاخص تولید (٪) جوجه گوشتی آرین

Table 4. The effect of crude protein and amino acid levels on feed consumption (g), feed conversion ratio, and the production index (%) in Arian broilers

شاخص تولید ۰-۴۲ روزگی	ضریب تبدیل خوراک (گرم/گرم) feed conversion ratio (g/)				مصرف خوراک روزانه (گرم) Daily feed consumption (g)						تیمارها Treatments		
Production index 0-42 days	۰-۴۲	۳۶-۴۲	۳۵-۲۵	۱۵-۲۴	۰-۱۴	۰-۴۲	۳۶-۴۲	۳۵-۲۵	۱۵-۲۴	۰-۱۴			
229.66 [b]	1.83	1.47	2.50	2.30	1.26 [a]	3514.5 [b]	952.1 [b]	1125.8 [c]	1043.6[b]	392.9	90%	پروتئین خام Crude protein	اثرات اصلی Main effects
224.55 [b]	1.81	1.59	2.23	2.36	1.27 [a]	3657.4 [b]	1012.9 [ab]	1190.5 [b]	1071.6[b]	382.2	95%		
253.00 [a]	1.77	1.47	2.23	2.19	1.19 [b]	3829.7 [a]	1057.6[a]	1251.8 [a]	1127.9[a]	392.5	100%		
0.0001	0.305	0.516	0.186	0.103	0.004	0.0001	0.0027	0.0001	0.0001	0.347	P-value		
238.11	1.78	1.43	2.34	2.29	1.24	3701.4	1031.7	1211.9 [a]	1083.6	374.3 [b]	90%	اسیدآمینه کل Total amino acid	
239.00	1.81	1.55	2.28	2.29	1.24	3705.4	992.1	1216.7 [a]	1092.1	404.6 [a]	100% ۵درصد		
229.99	1.80	1.55	2.48	2.27	1.25	3594.8	998.76	1139.7 [b]	1067.4	388.8 [ab]	110%		
0.4060	0.717	0.523	0.508	0.972	0.917	0.1224	0.335	0.0030	0.5000	0.003	P-value		
5.2231	0.027	0.087	0.122	0.056	0.015	42.0459	19.984	16.427	14.906	5.785	SEM		
											پروتئین خام CP × اسید آمینه کل TAA		
255.99[ab]	1.79	1.59	2.17	2.21	1.17[bc]	3832.3[a]	1027.8 [a]	1278.6[a]	1123.0	393.9[a]	100	100	اثرات متقابل پروتئین و اسید آمینه Interaction effects Cp and AA
242.77[abc]	1.80	1.49	2.46	2.22	1.11[c]	3868.8 [a]	1078.7 [a]	1278.6[a]	1133.1	378.4[ab]	90	100	
260.44[a]	1.71	1.31	2.38	2.14	1.28[ab]	3788.2 [a]	1066.3 [a]	1189.2[ab]	1127.5	405.2[a]	110	100	
230.77 [abc]	1.83	1.60	2.32	2.24	1.24[b]	3733.6 [a]	980.5 [ab]	1217[ab]	1121.9	414.1[a]	100	95	
216.66 [bc]	1.77	1.36	2.29	2.35	1.37[a]	3530.2 [ab]	987.5[ab]	1157 [abc]	1044.7	340.9[b]	90	95	
226.33 [abc]	1.88	1.82	2.06	2.49	1.21[bc]	3708.5 [a]	1070.7 [a]	1197 [ab]	1048.3	391.7[a]	110	95	
230.77[b]	1.82	1.46	2.35	2.41	1.30[ab]	3550.2 [ab]	967.9 [ab]	1145 [bc]	10.31.4	405.7 [a]	100	90	
255.00 [ab]	1.78	1.43	2.28	2.31	1.24[b]	3705.3 [a]	1029.0 [a]	1199 [ab]	1073.0	403.5 [a]	90	90	
203.11[c]	1.82	1.52	3.01	2.19	1.25[ab]	3287.8 [b]	859.3 [b]	1032 [c]	1026.5	369.5[ab]	110	90	
0.0005	0.4905	0.4703	0.1745	0.2426	0.0001	0.0001	0.0019	0.0001	0.2000	0.002	P-value		
9.0472	0.046	0.151	0.213	0.097	0.026	72.825	34.613	28.453	25.819	10.029	SEM		

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری دارند ($p < ۰/۰۵$).

Means with different superscripts within each column differ significantly ($p < 0.05$).

شاخص‌های بیوشیمیایی خون

برهم‌کنش سطوح مختلف پروتئین‌خام و اسیدهای آمینه، به جز آلبومین، پروتئین خام و تری‌گلیسرید، بر سایر شاخص‌های بیوشیمیایی خون اثر نداشت (جدول ۵). برهم‌کنش سطح توصیه‌شده (۱۰۰ درصد) پروتئین خام و سطوح مختلف اسیدهای آمینه منجربه افزایش غلظت آلبومین و پروتئین تام خون شد ($P < ۰/۰۵$). از طرفی، تیمارهای آزمایشی مذکور منجر به کاهش غلظت تری‌گلیسرید خون شدند ($P < ۰/۰۵$). اثر متقابل سطح پایین پروتئین خام جیره و سطوح (۱۰۰، ۹۰ و ۱۱۰ درصد) اسیدهای آمینه منجر به کاهش آلبومین و پروتئین تام پلاسما شد ($P < ۰/۰۵$). محققان بیان کردند که جیره‌هایی با سطح کم پروتئین منجر به افزایش نیاز اسیدهای آمینه شد، درنتیجه، آلبومین خون تجزیه شد و غلظت آن کاهش یافت (Wilkinson *et al*., 2021). مطابق با صالح و همکاران (Saleh *et al.,* 2021)، با کاهش پروتئین جیره خوراک هیچ تفاوت معنی‌داری در شاخصه‌های خون مشاهده نشد، اما مکمل کردن تیمارها با اسیدهای آمینه منجربه افزایش غلظت آلبومین و پروتئین تام پلاسمای خون شد. به‌طور مشابه، بهرامپور و همکاران (Bahrampour *et al.,* 2025) گزارش کردند که استفاده از سطح بالاتر اسیدآمینه آرژنین بر شاخص‌های خونی اثر داشت و باعث افزایش غلظت آلبومین خون و کاهش فعالیت آنزیم آلانین آمینوترانسفراز شد. همچنین، دایرو و همکاران (Dairo *et al*., 2010) اظهار داشتند که غلظت آلانین آمینوترانسفراز و آسپارتات آمینوترانسفراز پلاسمای خون با کاهش یک درصد پروتئین جیره خوراک تحت تأثیر قرار گرفت. مخالف با شواهد حاضر، پارسایی‌مهر و همکاران (Parsaeimehr *et al*., 2022) نشان دادند که سطح کم پروتئین و افزایش سطح اسیدآمینه والین بر آلبومین، پروتئین تام، تری‌گلیسرید و کلسترول تأثیر نداشت. دیگر محققان نیز بیان کردند که اثر متقابل سطح کم پروتئین و اسیدآمینه آرژنین بر شاخصه‌های خونی اثر معنی‌داری نداشت که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت ندارد. این اختلاف ممکن است به‌دلیل تفاوت در کاهش درصد پروتئین جیره خوراک و میزان افزودن مکمل اسیدآمینه تجاری باشد (Mostafa Gholami *et al*., 2015).

پاسخ ایمنی

تأثیر سطوح پروتئین خام و اسیدهای آمینه بر عیار پادتن علیه گلبول قرمز گوسفند (SRBC) در جدول ۵ نشان داد که سطوح مختلف پروتئین‌خام و اسیدهای آمینه و بر هم‌کنش این دو فاکتور بر عیار پادتن جوجه‌های گوشتی علیه گلبول قرمز گوسفند (SRBC) و ایمونوگلبولین‌های G و M اثر معنی‌داری نداشت. اگرچه کاهش سطح پروتئین به ۹۰ درصد و افزودن سطح ۱۱۰ درصد مکمل‌های اسیدآمینه از لحاظ عددی باعث افزایش عیار پادتن جوجه‌های گوشتی علیه گلبول قرمز گوسفند (SRBC) و ایمونوگلبولین‌های G و M شد ولی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. از طرفی، کمبود اسیدهای آمینه شاخه‌دار از جمه والین و آرژنین منجر به کاهش عیار پادتن علیه پادگن گلبول قرمز گوسفندی می‌شود (Isakov *et al*., 2005). محققین نیز بیان کردند که اثر متقابل سطوح مختلف اسیدهای آمینه و محدویت دان تأثیری بر پاسخ ایمنی همورال جوجه‌های گوشتی سویه آرین نداشت (Yussefi Kelarikolaei *et al*., 2015). افزودن ۲۰ درصد والین و مقادیر بالاتر به‌ترتیب به جیره‌هایی با سطح کم پروتئین منجر به بهبود پاسخ ایمنی، ایمنی همورال و افزایش پاسخ ثانویه علیه گلبول قرمز گوسفندی شد (Parsaeimehr *et al*., 2022). افزایش سطح لیزین بر عیار پادتن علیه SRBC اثر نداشت (Panda *et al*., 2011). برهم‌کنش سطوح کم پروتئین و افزایش سطح اسیدآمینه ترئونین باعث بهبود پاسخ اولیه و ثانویه پادتن علیه SRBC شد (Abasi *et al*., 2014).

جدول ۵- تأثیر سطوح پروتئین خام و اسیدهای آمینه بر شاخص‌های خونی و پاسخ ایمنی علیه گلبول قرمز گوسفند در جوجه گوشتی آرین
Table 5. Effects of crude protein and amino acids levels on blood indices and immune response against sheep red blood cells in Arian broilers

تیمارها Treatments				پروتئین خام CP	اسید آمینه کل TAA	آلبومین Albumin (g/dl)	پروتئین تام Total protein (g/dl)	کراتینین Creatinine (mg/dl)	آسپارتات آمینوترانسفراز GOT (U/l)	آلانین ترانس آمیناز GPT (U/l)	اوره Urea (g/dl)	تری‌گلیسرید Triglyceride (mg/dl)	پادتن علیه گلبول قرمز گوسفند Antibody against sheep red blood cells (log2)		
													SRBC	IGM	IGG
اثرات اصلی Main effects	پروتئین خام Crude protein	90%				1.16[b]	4.27[c]	0.260	265.39	3.33	8.22	74.16	6.00	3.40	2.60
		95%				1.22b	4.51[b]	0.282	260.87	3.21	9.11	71.01	5.70	3.53	2.16
		100%				1.65[a]	4.61[a]	0.270	283.39	3.41	9.16	78.42	5.60	3.60	2.00
	P-value					0.0001	0.0001	0.2708	0.1685	0.412	0.416	0.0733	1.30	0.797	0.1196
	اسیدآمینه کل Total amino acid	90%				1.30	4.41[b]	0.281	259.94	3.24	8.36	72.68	5.63	3.40	2.23
		100%				1.42	4.52[a]	0.262	265.92	3.24	9.24	78.83	5.63	3.66	1.96
		110%				1.30	4.46[ab]	0.280	283.81	3.35	8.90	72.83	6.03	3.42	2.56
	P-value					1.2832	0.0065	0.0921	0.1448	0.7166	0.5331	0.0957	0.482	0.6569	0.1348
	SEM					0.0600	0.0237	.0069	8.8280	0.1088	0.5610	2.2585	0.242	0.2135	20.97
اثرات متقابل پروتئین و اسید آمینه Interaction effects of Cp and AA															
				100	100	1.614[ab]	4.63[a]	0.269	271.38	3.32	10.44	54.58[b]	5.40	3.50	1.90
				90	100	1.672 [ab]	4.60 [a]	0.285	296.71	3.65	8.37	75.06 [a]	5.40	3.10	2.30
				110	100	1.675 [a]	4.59 [a]	0.269	282.08	3.26	8.69	65.17 [ab]	6.00	4.20	1.80
				100	95	1.216 [abc]	4.60 [a]	0.271	270.75	3.22	9.22	75.09 [a]	5.80	3.70	2.10
				90	95	1.206 [bc]	4.40 [bc]	0.282	235.94	3.15	8.88	67.83 [ab]	5.70	3.90	1.80
				110	95	1.252 [abc]	4.55 [ab]	0.295	275.94	3.25	9.23	78.76 [a]	5.60	3.00	2.60
				100	90	1.444 [abc]	4.33 [c]	0.246	255.62	3.19	8.06	72.96 [ab]	5.70	3.80	1.90
				90	90	1.041 [c]	4.24 [c]	0.277	247.16	3.25	7.83	73.30 [ab]	5.80	3.20	2.60
				110	90	0.996 [c]	4.24 [c]	0.277	239.40	3.55	8.78	76.21 [a]	6.50	3.20	3.30
	P-value					0.0001	0.0001	0.2643	0.927	0.596	0.752	0.0092	0.7446	0.2809	0.0686
	SEM					0.1039	0.0410	0.0120	15.2905	0.188	0.975	4.4697	0.420	0.369	0.3632

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری دارند ($p < ۰/۰۵$).
Means with different superscripts within each column differ significantly ($p < 0.05$).

صفات لاشه

نتایج (جدول ۶) نشان دادند که برهم‌کنش تیمارهای آزمایشی، به جز سینه و ران ($P < ۰/۰۵$)، بر وزن نسبی دیگر اجزای لاشه تأثیر معنی‌داری نداشت. با کاهش سطح پروتئین جیره خوراک به ۹۰ درصد و افزودن ۹۰ و ۱۱۰ درصد مکمل اسیدآمینه به‌ترتیب وزن نسبی سینه و ران افزایش یافت اما دلیل این افزایش کاهش وزن پرنده در ۴۲ روزگی نسبت به سایر تیمارها بود. این یافته با یافته‌های زنگ و همکاران (Zeng *et al*., 2015) و صالح و همکاران (Saleh *et al.,* 2021) مطابقت دارد. کاهش سطح پروتئین جیره به زیر ۹۲ درصد توصیه انجمن ملی، بازده و وزن سینه را محدود کرد اما بر بازده لاشه موثر نبود (Kidd *et al*., 1997). کاهش سطح پروتئین‌خام از سطح توصیه‌شده منجربه افزایش چربی بطنی گردید ($P < ۰/۰۵$). افزایش نسبت انرژی سوخت و ساز به پروتئین خام یکی از عناصر کلیدی برای افزایش چربی شکمی با تغذیه کم سطح پروتئین خام است (Cabel & Waldroup, 1991; Abd El-Moneim *et al.,* 2020). افزون بر این، کاهش سطح پروتئین خام جیره و استفاده از مکمل اسیدهای آمینه مصنوعی، ذخیره چربی را به‌دلیل فراهمی زیستی بالاتر اسیدهای آمینه‌ای که از ژژنوم به ورید پورتال وارد می‌شوند را کاهش داد. از آنجا که افزایش جذب نشاسته وجود دارد تعامل جذب پروتئین و نشاسته، به‌طور بالقوه باعث افزایش تجزیه چربی ها (لیپولیز) می‌شود (Hilliar & Swick, 2019). ولی اثر متقابل پروتئین و اسیدهای آمینه اثر معنی‌داری بر چربی بطنی نداشت. وزن سینه و ران با برهم‌کنش سطوح پروتئین خام و اسیدهای آمینه گوارش‌پذیر بهبود یافت ($P < ۰/۰۵$). صالح و همکاران (Saleh *et al.,* 2021) بیان داشتند که کاهش سطح پروتئین و افزایش سطح اسیدهای آمینه (متیونین، لیزین و ترئونین) منجر به کاهش چربی بطنی و افزایش اوزان کبد و سنگدان شد.

جدول ۶- تأثیر سطوح پروتئین خام و اسیدهای آمینه بر بازده لاشه و وزن نسبی اجزای لاشه (درصدی از وزن لاشه) در جوجه گوشتی آرین

Table 6. The effect of crude protein levels and amino acids on carcass yield and relative weight of carcass components (percentage of carcass weight) in Arian broilers

	تیمارها Treatments		لاشه Carcass	سینه Breast	ران Thigh	چربی‌بطنی Abdominal fat	قلب Heart	کبد Liver	سنگدان Gizzard	کیسه صفرا Gall bladder	بورس فابرسیوس Bursa fabricius
Main effects اثرات اصلی	پروتئین خام Crude protein	90%	59.48	34.91	42.16	3.76[a]	0.96	3.57	2.64	0.16	0.31
		95%	60.51	35.55	41.29	3.65[a]	0.96	3.40	2.57	0.16	0.30
		100%	60.44	35.40	41.83	3.02[b]	0.90	3.56	2.59	0.16	0.30
	P-value		0.1196	0.4617	0.1053	0.0054	0.2332	0.3516	0.5707	0.9286	0.7488
	اسیدآمینه کل Total amino acid	90%	60.45	35.86	41.29	3.51	0.94	3.29	2.63	0.17	0.32
		100%	60.21	38.19	41.78	3.50	0.92	3.60	2.58	0.15	0.31
		110%	59.77	34.80	40.20	3.42	0.96	3.63	2.58	0.15	0.27
	P-value		0.4638	0.1442	0.0891	0.9132	0.5179	0.073	0.7308	0.3693	0.286
	SEM		0.3903	0.3782	0.2896	0.1705	0.0276	0.959	0.0527	0.0127	0.0140
Interaction effects of Cp and AA اثرات متقابل پروتئین و اسید آمینه	پروتئین خامCP ×اسید آمینه کلTAA										
	100	100	59.91	34.74[ab]	42.68 [ab]	3.12	0.87	3.85	2.46	0.13	0.29
	100	90	60.37	36.10 [ab]	41.18[bc]	3.06	0.91	3.31	2.79	0.18	0.32
	100	110	61.04	35.36 [ab]	41.61 [abc]	2.86	0.92	3.51	2.50	0.17	0.28
	95	100	60.79	36.27 [ab]	40.24[c]	3.50	0.92	3.36	2.64	0.15	0.32
	95	90	60.60	34.76 [ab]	42.21 [abc]	3.63	1.00	3.12	2.62	0.19	0.32
	95	110	60.14	35.60 [ab]	41.41 [abc]	3.38	0.95	3.71	2.45	0.15	0.25
	90	100	59.92	34.56 [ab]	42.41 [abc]	3.87	0.97	3.58	2.65	0.18	0.34
	90	90	60.38	36.71 [a]	40.48 [bc]	3.85	0.90	3.46	2.49	0.16	0.31
	90	110	58.14	33.45 [b]	43.59 [a]	3.56	1.1	3.68	2.80	0.14	0.27
	P-value		0.1523	0.0227	0.0001	0.1350	0.4507	0.0784	0.0375	0.6299	0.2241
	SEM		0.6760	0.6551	0.5017	0.2954	0.0479	0.1662	0.0914	0.0220	0.0242

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری دارند ($p < ۰/۰۵$).

Means with different superscripts within each column differ significantly ($p < 0.05$).

ریخت‌شناسی روده

این تحقیق نشان داد (جدول ۷) که کاهش سطح پروتئین‌خام و افزایش سطوح اسیدهای آمینه منجربه افزایش طول دوازدهه، ژژنوم، ایلئوم و روده‌ها در هر چهار دوره پرورش شد ($P < ۰/۰۵$). همچنین، اثر متقابل تیمارهای آزمایشی کاهش سطح پروتئین و افزایش سطح اسیدهای آمینه منجر به افزایش ارتفاع پرز، عمق کریپت و کاهش عرض پرز شد ($P < ۰/۰۵$). همچنین، با کاهش سطح پروتئین، طول روده تا سطح پنج درصد طول روده افزایش یافت. سطح توصیه‌شده پروتئین و مکمل‌کردن آن با سطح ۱۱۰ درصد اسیدهای آمینه منجربه افزایش عرض پرز و کاهش عمق کریپت شد ولی ارتفاع پرز کاهش یافت ($P < ۰/۰۵$). مطابق با شواهد فوق، پژوهشگران نشان دادند که کاهش سطح پروتئین در جیره خوراک، کاهش ساخت پروتئین به‌ویژه در روده باریک را در پی داشت که بر ریخت‌شناسی روده تأثیر گذاشت (Hernández-Huesca *et al.*, 2024 ; Macelline *et al.*, 2019). محققان معتقدند که افزایش ارتفاع پرزهای روده موجب بهبود جذب مواد مغذی و عملکرد نمی‌شود که این امر به‌دلیل عدم‌تعادل اسیدهای آمینه جیره است (Bartell *et al.*, 2007). استفاده از سطوح مختلف مکمل آرژنین در جیره از ۱/۲۴ درصد تا ۱/۴۴ درصد علاوه بر بهبود ریخت‌شناسی روده باعث رشد کلی و یکنواخت پرزهای روده جوجه‌های گوشتی کاپ ۵۰۰ در معرض چالش بیماری با ایمریا تنلا یا بدون چالش گردید (Fernandez *et al.*,1994; Castro *et al.*, 2020). از طرفی، محققان بیان کردند که با کاهش سطح پروتئین تا دو درصد توصیه شده و سطح ثابت اسیدهای‌آمینه (متیونین، لیزین، ترئونین، والین، آرژنین و تریپتوفان) بر ارتفاع و عرض پرز در ۴۲ روزگی، در جنس نر ارتفاع پرز بیشتر از جنس ماده بود ولی بر عمق کریپت تأثیر معنی‌داری نداشت که مخالف با شواهد فوق است (Hernández-Huesca *et al.*, 2024). در مطالعه دیگر، با مکمل کردن سطوح مختلف پروتئین با اسیدهای‌آمینه در جیره خوراک، تفاوت معنی‌داری در یکپارچگی روده مشاهده نشد (Barekatain, 2019).

جدول ۷- تأثیر سطوح پروتئین‌خام و اسیدهای‌آمینه بر طول نسبی روده (cm/kg) و ریخت‌شناسی بافت روده (میکرومتر) در جوجه گوشتی آرین

Table 7. The effect of crude protein levels and amino acids on the relative length of the intestine (cm/kg) and the morphology of the intestinal tissue (µm) in Arian broilers

	تیمارها Treatments		دوازدهه Duodenum	ژژنوم Jejunum	ایلئوم Ileum	روده کور Cecum	ارتفاع پرز Villus heigh میکرومتر	عرض پرز Villus width میکرومتر	عمق کریپت Crypt depth میکرومتر	نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت VHCD	سطح مقطع پرز روده (میلی‌متر مربع) Cross-section of intestinal villi
Main effects اثرات اصلی	پروتئین خام Crude protein	90%	13.98[a]	52.13[a]	59.10[a]	14.92[a]	1805.33	74.13	54.13	33.41	420.21
		95%	14.32[a]	50.51[a]	56.13[a]	14.44[a]	1779.46	78.93	53.06	33.59	440.80
		100%	12.76[b]	45.66[b]	51.71[b]	13.02[b]	1771.86	89.46	50.93	33.92	482.62
	P-value		0.0003	0.0006	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0170	0.7712	0.0001
	اسیدآمینه کل Total amino acid	90%	13.84[ab]	49.84[ab]	57.04[a]	14.19	1760.13	81.06	53.46	33.00	447.51
		100%	13.06[b]	46.40[b]	52.51[b]	13.59	1763.33	81.33	53.06	33.30	449.64
		110%	14.16[a]	51.98[a]	57.40[a]	14.60	1779.20	80.13	51.60	34.62	446.49
	P-value		0.0185	0.0006	0.0141	0.0651	0.0002	0.4860	0.2038	0.0619	0.8640
	SEM		0.2750	0.1855	1.2873	0.3045	3.0729	0.7343	0.7620	0.4990	4.1927
	پروتئین خام CP × اسید آمینه کل TAA										
Interaction effects of Cp and AA اثرات متقابل پروتئین و اسید آمینه		100	12.31[b]	44.60[b]	51.09[b]	12.77[bc]	1714.80[e]	86.80[ab]	52.40[ab]	32.75	467.48[abc]
		90	13.57[b]	48.72[b]	54.89[b]	1390[abc]	1721.60[e]	89.20[ab]	51.60[ab]	33.51	482.17[ab]
		110	13.39[b]	43.65[b]	49.16[b]	12.38[c]	1717.20[e]	92.40[a]	48.80[b]	35.49	498.22[a]
		100	13.81	49.25[b]	54.67[b]	14.61[abc]	1760.00[d]	84.00[bc]	53.60[ab]	32.97	464.21[bc]
		90	14.11[b]	50.59[b]	51.76[ab]	13.91[bc]	1770.40[cd]	78.80[cd]	52.80[ab]	33.54	438.11[cd]
		110	14.02	51.69[ab]	57.62[ab]	14.81[ab]	1808.00[ab]	74.00[d]	52.80[ab]	34.27	420.09[d]
		100	13.07[b]	45.60[b]	51.76[ab]	13.83[bc]	1815.20[a]	73.20[d]	53.20[ab]	34.18	417.22[d]
		90	13.83	50.19[b]	58.62[ab]	14.75[abc]	1788.40[bc]	75.20[d]	56.00[a]	31.94	422.25[d]
		90	16.07[b]	60.61[a]	66.93[a]	16.61[a]	1812.40[ab]	74.00[d]	53.20[ab]	34.11	421.17[d]
	P-value		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0664	0.2221	0.0001
	SEM		0.4763	2.0535	2.2298	0.5274	0.3224	1.2719	1.3199	0.8643	7.2619

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری دارند ($p < ۰/۰۵$).

Means with different superscripts within each column differ significantly ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌ها نشان دادند که در هر چهار دوره پرورش، برهم‌کنش سطح توصیه‌شده پروتئین (سطح ۱۰۰ درصد) با اسیدهای آمینه به‌خصوص سطح ۱۰۰ درصد اسیدهای آمینه بیشترین وزن بدن را داشت ($P < ۰/۰۵$). در دوره‌های آغازین، پایانی یک و کل دوره (۰-۴۲ روزگی)، افزایش وزن روزانه بدن و مصرف خوراک تحت‌تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند ($P < ۰/۰۵$). تیمار آزمایشی حاوی سطح پروتئین ۱۰۰ درصد و سطح اسیدهای آمینه ۱۱۰ درصد در کل دوره پرورش بیشترین شاخص کارایی تولید اروپایی (EPEF) را داشت ($P < ۰/۰۵$). در نتیجه، مناسب‌ترین سطح پروتئین خام در جوجه گوشتی سویه آرین سطح توصیه‌شده (۱۰۰ درصد) است. ولی کاهش سطح پروتئین خام تا ۹۵ درصد و افزایش سطح اسیدهای آمینه تا ۱۱۰ درصد منجر به بهبود وزن بدن و افزایش وزن سینه، کاهش غلظت تری‌گلیسرید خون و افزایش طول روده شد.

تشکر و قدردانی

به این‌وسیله از همکاری دانشگاه بیرجند، به‌خصوص آزمایشگاه تغذیه دام، بخش دامپروی، اساتید محترم و دانشجویان گروه علوم دامی که یاری‌گر مادی و معنوی طرح بودند تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abbasi, M., Mahdavi, A., Samie, A., & Jahanian, R. (2014). Effects of different levels of dietary crude protein and threonine on performance, humoral immune responses and intestinal morphology of broiler chicks. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 16, 35-44. https://doi.org/10.1590/S1516-635X2014000100005

Abdel-Moneim, A.-M. E., Selim, D. A., Basuony, H. A., Sabic, E. M., Saleh, A. A., & Ebeid, T. A. (2020). Effect of dietary supplementation of Bacillus subtilis spores on growth performance, oxidative status, and digestive enzyme activities in Japanese quail birds. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 671-680 https://doi.org/10.1007/s11250-019-02055-1

Adabi, S. G., Ceylan, N., Ciftci, I., & Ceylan, A. (2019). Response of growing chicks to supplementation of low protein diets with leucine, valine and glycine-glutamic acid. *South African Journal of Animal Science*, *49*(6), 1047-1062. https://doi.org/10.4314/sajas.v49i6.9

Ajao, A. M., Liu, G., Taylor, J., Ball, M. E. E., Mercier, Y., Applegate, T. J., Selvaraj, R., Kyriazakis, I., Kim, W. K., & Olukosi, O. A. (2024). Phase-specific outcmes of arginine or branched-chain amino acids supplementation in low crude protein diets on performance, nutrient digestibility, and expression of tissue protein synthesis and degradation in broiler chickens infected with mixed Eimeria spp. *Poultry Science*, *103*(7), 103811. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103811

Alagawany, M., El-Hindawy, M. M., El-Hack, M. E. A., Arif, M., & El-Sayed, S. A. (2020). Influence of low-protein diet with different levels of amino acids on laying hen performance, quality and egg composition. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *92*(01), e20180230. https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180230

Aletor, V. A., Hamid, I. I., Niess, E., & Pfeffer, E. (2000). Low-protein amino acid-supplemented diets in broiler chickens: effects on performance, carcass characteristics, whole-body composition and efficiencies of nutrient utilisation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *80*(5), 547-554. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(200004)80:5<547::AID-JSFA531>3.0.CO;2-C

Attia, Y. A., Bovera, F., Wang, J., Al-Harthi, M. A., & Kim, W. K. (2020). Multiple amino acid supplementations to low-protein diets: Effect on performance, carcass yield, meat quality and nitrogen excretion of finishing broilers under hot climate conditions. *Animals*, *10*(6), 973. https://doi.org/10.3390/ani10060973

Awad, E. A., Zulkifli, I., Farjam, A. S., & Chwen, L. T. (2014). Amino acids fortification of low-protein diet for broilers under tropical climate. 2. Nonessential amino acids and increasing essential amino acids. *Italian Journal of Animal Science*, *13*(3), 3297. https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3297

Awad, E., Zulkifli, I., Soleimani, A., Law, F., Ramiah, S., Mohamed-Yousif, I., Hussein, E., & Khalil, E. (2019). Response of broilers to reduced-protein diets under heat stress conditions. *World's Poultry Science Journal*, 75(4), 583-598. https://doi.org/10.1017/S0043933919000576

Ball, R. O., Urschel, K. L., & Pencharz, P. B. (2007). Nutritional consequences of interspecies differences in arginine and lysine metabolism. *The Journal of Nutrition*, 137(6), 1626S-1641S. https://doi.org/10.1093/jn/137.6.1626S.

Bahrampour, K., Afzali, N. & Hosseini-Vashan, S.J. (2025). Arginine amino acid, nano particles of zinc oxide, and stock density: Effect on growth performance, intestinal morphology, blood indices, and meat quality in broiler chickens. *Poultry Science,* 10.1016/j.psj.2025.106148.

Barekatain, R., Nattrass, G., Tilbrook, A., Chousalkar, K., & Gilani, S. (2019). Reduced protein diet and amino acid concentration alter intestinal barrier function and performance of broiler chickens with or without synthetic glucocorticoid. *Poultry Science*, 98(9), 3662-3675. https://doi.org/10.3382/ps/pey563

Bartell, S., & Batal, A. (2007). The effect of supplemental glutamine on growth performance, development of the gastrointestinal tract, and humoral immune response of broilers. *Poultry Science*, *86*(9), 1940-1947. https://doi.org/10.1093/ps/86.9.1940

Benahmed, S., Askri, A., de Rauglaudre, T., Létourneau-Montminy, M.-P., & Alnahhas, N. (2023). Effect of reduced crude protein diets supplemented with free limiting amino acids on body weight, carcass yield, and breast meat quality in broiler chickens. Poultry Science, 102(11), 103041. https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103041

Berres, J., Vieira, S., Kidd, M., Taschetto, D., Freitas, D., Barros, R., & Nogueira, E. (2010). Supplementing L-valine and L-isoleucine in low-protein corn and soybean meal all-vegetable diets for broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, *19*(4), 373-379. https://doi.org/10.3382/japr.2009-00093

Bezerra, R., Costa, F., Givisiez, P., Freitas, E., Goulart, C., Santos, R., Souza, J., Brandao, P., Lima, M., & Melo, M. (2016). Effect of l-glutamic acid supplementation on performance and nitrogen balance of broilers fed low protein diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *100*(3), 590-600. https://doi.org/10.1111/jpn.12405

Bregendahl, K., Sell, J., & Zimmerman, D. (2002). Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poultry Science*, *81*(8), 1156-1167. https://doi.org/10.1093/ps/81.8.1156

Brudnicki, A., Brudnicki, W., Szymeczko, R., Bednarczyk, M., Pietruszynska, D., & Kirkillo-Stacewicz, K. (2017). Histo-morphometric adaptation in the small intestine of broiler chicken, after embryonic exposure to galactosides. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(4). 1075-1082.

Cabel, M. C., & Walderoup, P. W. (1991). Effect of dietary protein level and length of feeding on performance and abdominal fat content of broiler chickens. *Poultry Science*, *70*(7), 1550-1558. https://doi.org/10.3382/ps.0701550

Castro, F. L., Teng, P.-Y., Yadav, S., Gould, R. L., Craig, S., Pazdro, R., & Kim, W. K. (2020). The effects of L-Arginine supplementation on growth performance and intestinal health of broiler chickens challenged with Eimeria spp. *Poultry Science*, *99*(11), 5844-5857. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.017

Castro, F., Su, S., Choi, H., Koo, E., & Kim, W. (2019). L-Arginine supplementation enhances growth performance, lean muscle, and bone density but not fat in broiler chickens. *Poultry Science*, *98*(4), 1716-1722. https://doi.org/10.3382/ps/pey504

Chrystal, P. V., Moss, A. F., Khoddami, A., Naranjo, V. D., Selle, P. H., & Liu, S. Y. (2020). Effects of reduced crude protein levels, dietary electrolyte balance, and energy density on the performance of broiler chickens offered maize-based diets with evaluations of starch, protein, and amino acid metabolism. *Poultry Science,* 99(3), 1421-1431. https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.060

Council, N. R., & Nutrition, S. O. P. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry: 1994*. National Academies Press.

Dairo, F., Adesehinwa, A., Oluwasola, T., & Oluyemi, J. (2010). High and low dietary energy and protein levels for broiler chickens. *African Journal of Agricultural Research*, *5*(15), 2030-2038. https://doi.org/10.5897/AJAR10.254

De Cesare, A., do Valle, I. F., Sala, C., Sirri, F., Astolfi, A., Castellani, G., & Manfreda, G. (2019). Effect of a low protein diet on chicken ceca microbiome and productive performances. *Poultry Science*, *98*(9), 3963-3976. https://doi.org/10.3382/ps/pez132

D'Mello, J. (2003). Adverse effects of amino acids. In *Amino Acids in Animal Nutrition* (pp. 125-142). CABI Publishing Wallingford UK. https://doi.org/10.1079/9780851996547.0125

Dozier W.A., Kidd, M., & Corzo, A. (2008). Dietary amino acid responses of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, *17*(1), 157-167. https://doi.org/10.3382/japr.2007-00071

Fernandez, S. R., Aoyagi, S., Han, Y., Parsons, C., & Baker, D. H. (1994). Limiting order of amino acids in corn and soybean meal for growth of the chick. *Poultry Science*, *73*(12), 1887-1896. https://doi.org/10.3382/ps.0731887

Fiala, N. (2008). Meeting the demand: an estimation of potential future greenhouse gas emissions from meat production. *Ecological Economics*, *67*(3), 412-419. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.021

Gholami, M., Hassanabadi, A. N., & Golian, A. (2015). fects of different levels of digestible arginine and protein in starter diets containing ideal amino acids ratio on Eperformance, carcass traits and serum parameters in broiler chickens. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *7*(2), 314-352. https://doi.org/10.22067/ijasr.v7i2.51524

Havenstein, G., Ferket, P., Scheideler, S., & Rives, D. (1994). Carcass composition and yield of 1991 vs 1957 broilers when fed “typical” 1957 and 1991 broiler diets. *Poultry Science*, *73*(12), 1795-1804. https://doi.org/10.3382/ps.0731795

Hernández-Ḥuesca, A., Cortes-Cuevas, A., Juarez-Ramirez, M., Menocal-Arce, J., Margarito-Romero, M., & Ávila-Gonzalez, E. (2024). Effect of low protein diets supplemented with amino acids on productive performance, carcass yield and intestinal integrity on broilers. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(2). http://doi.org/10.56369/tsaes.4905

Hilliar, M., & Swick, R. (2019). Nutritional implications of feeding reduced-protein diets to meat chickens. *Animal Production Science*, 59(11), 2069-2081. https://doi.org/10.1071/AN19221

Hilliar, M., Hargreave, G., Girish, C., Barekatain, R., Wu, S.-B., & Swick, R. (2020). Using crystalline amino acids to supplement broiler chicken requirements in reduced protein diets. *Poultry Science*, 99(3), 1551-1563. https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.005.

Hosseini-Vashan, S.J., & Piray, A.H. (2021). Effect of dietary saffron (Crocus sativus) petal extract on growth performance, blood biochemical indices, antioxidant balance, and immune responses of broiler chickens reared under heat stress conditions. *Italian Journal of Animal Science,* 20, 1338-1347. 10.1080/1828051X.2021.1921628.

Isakov, N., Feldman, M., & Segal, S. (2005). The mechanism of modulation of humoral immune responses after infection of mice with lactic dehydrogenase virus. *Journal of immunology (Baltimore, Md.: 1950),* 128(2), 969-975.

Kamran, Z., & Mirza, M. A. (2004). Effect of decreasing dietary protein levels with optimal aminoacids profile on the performance of broilers. *Pakistan Veterinary Journal (Pakistan)*, 24(4).

Kidd, M., Kerr, B., England, J., & Waldroup, P. (1997). Performance and carcass composition of large white toms as affected by dietary crude protein and threonine supplements. *Poultry Science*, 76(10), 1392-1397. https://doi.org/10.1093/ps/76.10.1392

Kriseldi, R., Tillman, P., Jiang, Z., & Dozier, W. A. (2018). Effects of feeding reduced crude protein diets on growth performance, nitrogen excretion, and plasma uric acid concentration of broiler chicks during the starter period. *Poultry Science*, 97(5), 1614-1626. https://doi.org/10.3382/ps/pex395

Liang, Y., Zheng, X., Wang, J., Yang, H., & Wang, Z. (2023). Different amino acid supplementation patterns in low-protein diets on growth performance and nitrogen metabolism of goslings from 1 to 28 days of age. *Poultry Science*, 102(2), 102395. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102395

Macelline, S. P., Wickramasuriya, S. S., Cho, H. M., Kim, E., Shin, T. K., Hong, J. S., Kim, J. C., Pluske, J. R., Choi, H. J., & Hong, Y. G. (2020). Broilers fed a low protein diet supplemented with synthetic amino acidsmaintained growth performance and retained intestinal integrity while reducing nitrogen excretion when raised under poor sanitary conditions. *Poultry Science*, 99(2), 949-958. https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.035

Mavromati, E., Sena, L., Gjeta, Z., & Mavromati, J. (2018). Assessing the economic efficiency in some broiler farms through the European production efficiency factor (EPEF). *European Academic Research*, *6*(9), 5354-5362. https://euacademic.org

Mottet, A., & Tempio, G. (2017). Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal,* 73(2), 245-256. https://doi.org/10.1017/S0043933917000071

Nelson, N., Lakshmanan, N., & Lamont, S. (1995). Sheep red blood cell and Brucella abortus antibody responses in chickens selected for multitrait immunocompetence. *Poultry Science*, *74*(10), 1603-1609. https://doi.org/10.3382/ps.0741603

Neto, M. G., Pesti, G., & Bakalli, R. (2000). Influence of dietary protein level on the broiler chicken's response to methionine and betaine supplements. *Poultry Science*, *79*(10), 1478-1484. https://doi.org/10.1093/ps/79.10.1478

Ospina-Rojas, I., Murakami, A., Eyng, C., Nunes, R., Duarte, C., & Vargas, M. (2012). Commercially available amino acid supplementation of low-protein diets for broiler chickens with different ratios of digestible glycine+ serine: lysine. *Poultry Science*, *91*(12), 3148-3155. https://doi.org/10.3382/ps.2012-02470

Panda, A., Rao, S., Raju, M., Lavanya, G., Reddy, E., & Sunder, G. S. (2011). Early growth response of broilers to dietary lysine at fixed ratio to crude protein and essential amino acids. *Asian-Australasian Journal of Animal sciences*, *24*(11), 1623-1628. https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11080

Parsaeimehr, K., Daneshyar, M., Farhoumand, P., Janmohammadi, H., Oliyaei, M., & Javanmard, A. (2022). The effect of adding different levels of valine in low protein diets on performance, blood parameters and tibial bone properties of ross-308 broiler chickens from 8-21 days. *Research on Animal Production*, *13*(37), 32-39. https://doi.org/10.52547/rap.13.37.32

Prakatur, I., Miskulin, M., Pavic, M., Marjanovic, K., Blazicevic, V., Miskulin, I., & Domacinovic, M. (2019). Intestinal morphology in broiler chickens supplemented with propolis and bee pollen. *Animals*, *9*(6), 301. https://doi.org/10.3390/ani9060301

Salahi Moghaddam, R., & Shahir, M. (2021). Response of broiler chicks to different levels of dietary ideal protein and digestible valine to lysine ratios in the starter period. *Livestock Products*, *23*(4), 535-548. https://doi.org/10.22059/jap.2021.323616.623617

Saleh, A. A., Amber, K. A., Soliman, M. M., Soliman, M. Y., Morsy, W. A., Shukry, M., & Alzawqari, M. H. (2021). Effect of low protein diets with amino acids supplementation on growth performance, carcass traits, blood parameters and muscle amino acids profile in broiler chickens under high ambient temperature. *Agriculture*, *11*(2), 185. https://doi.org/10.3390/agriculture11020185

Selle, P. H., Dorigam, J. C., Lemme, A., Chrystal, P. V., & Liu, S. Y. (2020). Synthetic and crystalline amino acids: alternatives to soybean meal in chicken-meat production. *Animals*, *10*(4), 729. https://doi.org/10.3390/ani10040729

Teng, P.-Y., Choi, J., Yadav, S., Tompkins, Y., & Kim, W. K. (2021). Effects of low-crude protein diets supplemented with arginine, glutamine, threonine, and methionine on regulating nutrient absorption, intestinal health, and growth performance of Eimeria-infected chickens. *Poultry Science*, 100(11), 101427. https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101427

Toprak, N., Yavaş, I., Çenesiz, A., Ceylan, N., & Çiftci, I. (2021). Effects of digestible amino acidbased formulation of low protein broiler diets supplemented with valine, isoleucine and arginine on performance and protein efficiency. *Czech Journal of Animal Science*, 66(5). https://doi.org/10.17221/293/2020-cjas

Uyanga, V. A., Xin, Q., Sun, M., Zhao, J., Wang, X., Jiao, H., Onagbesan, O. M., & Lin, H. (2022). Research Note: Effects of dietary L-arginine on the production performance and gene expression of reproductive hormones in laying hens fed low crude protein diets. *Poultry Science*, *101*(5), 101816. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101816

Van Harn, J., Dijkslag, M., & Van Krimpen, M. (2019). Effect of low protein diets supplemented with free amino acids on growth performance, slaughter yield, litter quality, and footpad lesions of male broilers. *Poultry Science,* 98(10), 4868-4877. https://doi.org/10.3382/ps/pez229

Waguespack, A., Powell, S., Bidner, T., Payne, R., & Southern, L. (2009). Effect of incremental levels of L-lysine and determination of the limiting amino acids in low crude protein corn-soybean meal diets for broilers. *Poultry Science*, *88*(6), 1216-1226. https://doi.org/10.3382/ps.2008-00452

Wilkinson, D. J., Brook, M. S., & Smith, K. (2021). Principles of stable isotope research–with special reference to protein metabolism. *Clinical Nutrition Open Science*, *36*, 111-125. https://doi.org/10.1016/j.nutos.2021.02.005

Yussefi Kelarikolaei, K., Moraveg, H., Hosseini, S.A., & Pakdel, A. (2015). Amino acid density and feeding methods on performance and carcass parameters of Arian broiler chicken. *Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi*), 28(107), 147-160. https://doi.org/10.22092/asj.2015.102422

Zeng XiaoGe, Z. X., Li XiaoFei, L. X., Hu YiXin, H. Y., Wen Qian, W. Q., Zhao LuLu, Z. L., Zhang LiYang, Z. L., Li SuFen, L. S., & Luo XuGang, L. X. (2015). Dietary crude protein requirement of broilers from 22 to 42 days of age. *Chinese Association of Animal Science and Veterinary Medicine*, 27(8), 2534-2543. https://doi.org/full/10.5555/20153331689