Vol 26, No. 3, Autumn 2024

University of Tehran Press

Journal of Animal Production

Online ISSN: 2382-994X

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

The effect of high amounts of phytase in combination with phytogenic supplement in diets with reduced calcium and phosphorus on growth performance, nutrient digestibility, humoral immunity and blood parameters of broiler chickens

Seyed Mousa Saadat Mirqadim[1] | **Majid Mottaghitalab**[2]✉

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran. E-mail: Mousa.saadat@gmail.com.
2. Corresponding Author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran. E-mail: mmotaghi@guilan.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 17 February 2024
Received in revised form
31 July 2024
Accepted 3 August 2024
Published online 30 September 2024

Keywords:
Blood parameters
Calcium and phosphorus concentration
Humoral immunity
Phytase
Phytogenic additives

ABSTRACT

Introduction: Today, the use of enzymes to improve feed digestibility and achieve higher productivity has been considered as an effective strategy in the poultry industry. Phytase is an enzyme that is used in most commercial diets with the aim of breaking the bonds of phytic acid to increase the digestibility and absorption of nutrient. On the other hand, by carrying out breeding programs and subsequently reducing resistance to diseases due to the shift of nutrient for more production, more attention has been paid to immunity system and gut health. Therefore, gut health has a key role in the absorption of nutrient resulting from the activity of endogenous and endogenous enzymes. Hence, research in term of gut health modifiers such a prebiotics, probiotics, postbiotics, parabiotics and essential oils have increased. Among them, phytogenics have become more popular nowadays. Phytogenic supplements are known as their role on growth performance and increase profitability through improving microbiota balance and intestinal health. In addition to dietary phtoygenic supplemets, dietary calcium and phosphorus reduction is probablely effective tool led to phytase activity released nutrient. Results from studies have been showed that, slight decrease in the level of calcium and phosphorus is effective in increasing the efficiency of these mineral and gut health via reducing gut acidity. In the present study, effect of high amounts of phytase in combination with phytogenic additive in diets with reduced calcium and phosphorus on nutrient digestibility, humoral immunity and some related blood parameters of broiler chickens were investigated.

Materials and Methods: The 672 one-day-old male broilers of Ross 308 strain were assigned to 12 dietary treatments and four replicats in a 2x2x3 factorial arrangement with different amounts of phytase (zero, 500 and 2000 FTU) and two levels of phytogenic supplement (zero and 200 mg/kg of feed) on two dietary calcium (normal=0.81, 0.72, 66%; reduced=0.71, 0.62 and 0.56% for different phases) and phosphorus (normal = 0.36, 0.32 and 0.29%; reduced=0.31, 0.27 and 0.24% for different phases) in a completely randomized design.

Results and Discussion: Addition of phytase to the diets in combination to calcium and phosphorus reduction increased phosphorus digestibility compared to that normal diets (P<0.05). Increasing phytase from 0 to 500 and 2000 FTU increased digestibility of dry matter, organic matter, phosphorus, calcium and protein (P<0.05). The interaction effect of adding phytase enzyme along with decreasing the amount of calcium and phosphorus on the digestibility of calcium and phosphorus were significant (P<0.05), and the inclusion of phytogenic supplement at the levels of 500 and 2000 FTU of phytase per kg of feed increased phosphorus digestibility (P<0.05). Decreasing dietary calcium and phosphorus concentration and adding phytogenic additive, improved nutrient digestibility of nutrients except protein (P<0.05). Inclusion 2000 FTU of phytase in diets increased digestibility of nutrients and decreased blood calcium compared to the usual amount and diet without phytase (P<0.05). The blood concentratin of alanine aminotransferase reduced by 2000 FTU of phytase compared to 0 and 500 FTU (P<0.05). Dietary addition of phytase decreased alkaline phosphatase (P<0.05). High levels of phytase inceasded total serum immunoglobulins at the age of 28 and 41 days compared to the zero level (P<0.05), but there was no difference compared to the 500 FTU. Addition of phytase or phytogenic supplement improved antibody level against Newcastle at the age of 41 days (P<0.05).

Conclusion: Based on the results of this research, 2000 FTU phytase compared to 500 FTU and adding phytogenic supplement had positive effects on nutrient digestibility, growth performance and immunity in broilers.

Cite this article: Saadat Mirqadim, S. M., & Mottaghitalab, M. (2024). The effect of high amounts of phytase in combination with phytogenic supplement in diets with reduced calcium and phosphorus on growth performance, nutrient digestibility, humoral immunity and blood parameters of broiler chickens. *Journal of Animal Production*, 26 (3), 335-354. DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2024.372815.623782

© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2024.372815.623782

دوره بیست و ششم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

تولیدات دامی

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۲-۹۹۴x

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

اثر مقادیر بالای فیتاز در ترکیب با مکمل فایتوژنیکی در جیره‌های با سطوح کلسیم و فسفر کاهش یافته بر عملکرد رشد، قابلیت هضم مواد مغذی، ایمنی هومورال و فراسنجه‌های خونی جوجه‌های گوشتی

سیدموسی سعادت میرقدیم[۱] | مجید متقی‌طلب[۲]✉

۱. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: Mousa.saadat@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: mmotaghi@guilan.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

کلیدواژه‌ها:

افزودنی فایتوژنیک

ایمنی هومورال

غلظت کلسیم و فسفر

فراسنجه‌های خونی

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر افزودن مقادیر مختلف فیتاز (صفر، ۵۰۰ و FTU۲۰۰۰) و دو سطح مکمل فایتوژنیکی (صفر و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خوراک) در دو سطح کلسیم (عادی=۰/۸۱، ۰/۷۲، ۰/۶۶؛ کاهش‌یافته=۰/۷۱، ۰/۶۲ و ۰/۵۶درصد برای مراحل مختلف پرورش) و فسفر (عادی=۰/۳۶، ۰/۳۲ و ۰/۲۹درصد؛ کاهش‌یافته=۰/۳۱، ۰/۲۷ و ۰/۲۴درصد برای مراحل مختلف پرورش) بر قابلیت هضم موادمغذی، ایمنی و برخی فراسنجه‌های خونی با استفاده از ۶۷۲ قطعه جوجه‌گوشتی نر یک‌روزه سویه راس–۳۰۸ به‌صورت آزمایش فاکتوریل ۲×۲×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی با دوازده تیمار و چهار تکرار انجام شد. افزودن فیتاز به جیره با کاهش کلسیم و فسفر سبب افزایش قابلیت‌هضم فسفر نسبت به جیره با سطح عادی کلسیم و فسفر شد (P<۰/۰۵). کاهش کلسیم و فسفر خوراک و افزودن مکمل فایتوژنیکی سبب بهبود قابلیت هضم موادمغذی (به‌جز پروتئین) و عملکرد رشد شد (P<۰/۰۵). افزودن FTU۲۰۰۰ فیتاز سبب بهبود قابلیت هضم موادمغذی و عملکرد رشد، افزایش فسفر و کاهش کلسیم خون نسبت به سطح صفر و FTU۵۰۰ فیتاز گردید (P<۰/۰۵). افزودن FTU۲۰۰۰ فیتاز به هر کیلوگرم خوراک سبب کاهش آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز و آلانین آمینوترانسفراز خون نسبت به سطح صفر و FTU۵۰۰ و افزایش مجموع ایمونوگلوبولین‌های سرم در ۲۸ و ۴۱ روزگی نسبت به سطح صفر شد (P<۰/۰۵). افزودن فیتاز و یا مکمل فایتوژنیکی سبب بهبود عیار آنتی‌بادی علیه نیوکاسل در ۴۱ روزگی شد (P<۰/۰۵). براساس نتایج این پژوهش، FTU۲۰۰۰ فیتاز نسبت به مقدار FTU۵۰۰ و هم‌چنین افزودن مکمل فایتوژنیکی اثرات مثبتی بر قابلیت هضم موادمغذی، عملکرد رشد و ایمنی جوجه‌های گوشتی داشت.

استناد: سعادت میرقدیم، سیدموسی و متقی‌طلب، مجید (۱۴۰۳). اثر مقادیر بالای فیتاز در ترکیب با مکمل فایتوژنیکی در جیره‌های با سطوح کلسیم و فسفر کاهش یافته بر عملکرد رشد، قابلیت هضم مواد مغذی، ایمنی هومورال و فراسنجه‌های خونی جوجه‌های گوشتی. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۶ (۳)، ۳۳۵-۳۵۴.

DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2024.372815.623782

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

گوشت مرغ از جمله ارزان‌ترین و رایج‌ترین منابع پروتئینی در سراسر جهان است. در طول بیش از ۷۰ سال انتخاب ژنتیکی وزن بدن، سرعت رشد و راندمان استفاده از خوراک افزایش یافته است. با وجود پیشرفت‌های ژنتیکی جهت افزایش راندمان تولید، هنوزهزینه خوراک بخش بزرگی از هزینه‌های پرورش طیور صنعتی (۶۰ تا ۷۵ درصد) را تشکیل داده و از جمله موضوعات موردتوجه تولیدکنندگان این صنعت محسوب می‌شود. تولیدکنندگان و متخصصان تغذیه جهت افزایش تولید و ارتقای عملکرد تا حد توان ژنتیکی از افزودنی‌های مختلفی مانند پروبیوتیک‌ها، پری‌بیوتیک‌ها، سین‌بیوتیک‌ها، پست‌بیوتیک‌ها، پارابیوتیک‌ها، آنزیم‌ها، فیتوبیوتیک‌ها در خوراک استفاده می‌کنند (Gholami-Ahangaran *et al*., 2022). در میان افزودنی‌های خوراک، آنزیم‌ها ترکیباتی هستند که به‌منظور بهبود استفاده از مواد مغذی خوراک، سلامت دستگاه گوارش و عملکرد رشد به جیره‌ها افزوده می‌شوند. در حال حاضر آنزیم‌هایی مانند فیتازها، پروتئازها، کربوهیدازها، پلی‌ساکاریدازها و لیپاز جهت بهبود عملکرد رشد و افزایش بازدهی اقتصادی در جیره‌های تجاری مورداستفاده قرار می‌گیرند (Liu *et al*., 2023). فیتاز پرکاربردترین آنزیم در جیره‌های طیور است که با خنثی‌کردن اثرات اسیدفایتیک در اتصال به مواد مغذی نقش خود را ایفا می‌کند. این آنزیم با قطع اتصال قوی بین گروه‌های با بار منفی فسفات اسیدفایتیک و ذرات باردار مواد معدنی پرنیاز کلسیم، منیزیم، مس، روی و کم‌نیاز مانند آهن، دسترسی این مواد را افزایش می‌دهد (Zarghi *et al*., 2022). امروزه با استفاده از موادمعدنی پوشش‌دارشده سعی شده است تا از اثرات متقابل اسیدفایتیک با مواد معدنی کم‌نیاز و پرنیاز مکمل جیره جلوگیری شود (کلسیم و فسفر از این قاعده مستثنی هستند)، ولی با این وجود آزادسازی میواینوزیتول و سایر مواد مغذی مانند اسیدهای آمینه نیازمند حضور این آنزیم در خوراک است (Ghasemi *et al*., 2023). نتایج پژوهش‌های اخیر نشان داده است که استفاده از فیتاز در سطوح بیش از مقدار مصرف تجاری نه‌تنها به‌عنوان یک ابزار مفید، ظرفیت بهبود عملکرد جوجه‌های گوشتی را دارد، بلکه منجر به ارائه جیره با راندمان بالاتر و کم‌هزینه‌تر خواهد شد. به‌علاوه از طریق افزایش قابلیت هضم و جذب مواد مغذی مختلف و اصلاح میکروبیوتای دستگاه گوارش، دفع نیتروژن و فسفر کاهشی شده، سلامت و یکپارچگی دستگاه گوارش ارتقا یافته و در نهایت کاهش استفاده از فسفر معدنی در جیره شده و از اثرات نامطلوب زیست محیطی ناشی تولید جوجه‌های گوشتی کاسته خواهد شد (Sens *et al*., 2021). هرچند که آنزیم‌های برون‌زادی با فعالیت خود به افزایش دسترسی موادمغذی کمک می‌نمایند، اما با این وجود سلامت دستگاه گوارش شرط اصلی استفاده از مواد مغذی آزادشده از فعالیت این آنزیم‌ها می‌باشد (Liu *et al*., 2023).

سلامت دستگاه گوارش تضمین‌کننده عملکرد بهینه و تا حد توان ژنتیکی پرنده است و این موضوع با پیشرفت‌های به‌نژادی اهمیت بیش‌تری یافته است، زیرا با وجود افزایش راندامان تبدیل خوراک به گوشت در طیور، پیشرفت‌های ناشی از به‌نژادی طیور، اثرات منفی بر مقاومت نژادها در برابر عفونت‌ها داشته و به توان ایمنی آن‌ها آسیب زده است. علاوه بر این، ۷۰ تا ۸۰ درصد از سلول‌های ایمنی در روده حضور داشته و یک تعامل پیچیده بین میکروبیوتای روده، لایه اپیتلیال روده و سیستم ایمنی مخاطی روده وجود دارد (Hesabi Nameghi *et al*., 2019). علاوه بر پاسخ‌های ایمنی موضعی مخاطی در روده، تأثیر میکروبیوم دستگاه گوارش نیز بر ایمنی سیستمیک به‌طور فزاینده مورد تأکید قرار گرفته و اهمیت میکروبیوتای روده در تغذیه، سلامت، فیزیولوژی و ایمنی طیور در سال‌های اخیر گزارش شده است. پس از ممنوعیت استفاده تحت بالینی آنتی‌بیوتیک‌ها به‌عنوان محرک رشد، مکمل‌های فایتوژنیک از جمله گزینه‌های با اهمیت برای بهبود سلامت و تعادل میکروبی دستگاه گوارش در صنعت دام و طیور موردتوجه قرار گرفته‌اند (Liu *et al*., 2023). نشان داده شده است که استفاده از این مکمل‌ها با ارتقای سلامت دستگاه گوارش سبب افزایش هضم و جذب مواد مغذی به‌ویژه

کلسیم و فسفر می‌شوند (Hafeez *et al*., 2016). در نتیجه ممکن است به افزایش هضم و جذب مواد مغذی حاصل از فعالیت آنزیم‌ها و به‌ویژه فیتاز کمک نماید. علاوه بر استفاده از فایتوژنیک‌ها برای استفاده بهتر از مواد مغذی به‌ویژه موادمعدنی، کاهش مقدار کلسیم و فسفر برای افزایش راندمان جذب نیز موردتوجه قرار گرفته است. پژوهش‌گران نشان داده‌اند که کاهش این مواد معدنی همراه با افزایش بیان ناقلین فسفر و کلسیم همراه است و در نتیجه می‌تواند راندمان جذب را افزایش دهد (Rousseau *et al*., 2016). هدف از مطالعه حاضر بررسی اثرات متقابل استفاده همزمان آنزیم فیتاز و یک مکمل فایتوژنیکی در دو سطح کلسیم و فسفر بر قابلیت هضم موادمغذی، فراسنجه‌های خونی مرتبط و ایمنی هومورال در جوجه‌های گوشتی بود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

تعداد ۶۷۲ قطعه جوجه گوشتی نر یک روزه سویه راس ۳۰۸ با میانگین وزنی ۱± ۴۳ گرم در یک آزمایش فاکتوریل ۲×۲×۳ با سه سطح آنزیم فیتاز (صفر، ۵۰۰ و FTU۲۰۰۰ در هر کیلوگرم خوراک) و دو سطح کلسیم و فسفر (عادی و کاهش‌یافته= ۱۲، ۱۴ و ۱۵ درصد کاهش در کلسیم و ۱۴، ۱۶ و ۱۸ درصد کاهش در فسفر به‌ترتیب در مراحل مختلف آغازین، رشد و پایانی) و دو سطح مکمل فایتوژنیکی (صفر و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خوراک) در قالب طرح کاملاً تصادفی به ۱۲ تیمار، چهار تکرار و ۱۴ قطعه جوجه در هر تکرار استفاده شدند. مکمل فایتوژنیکی مورداستفاده به نام O.X.Plant، ساخت شرکت نوین آکام و کمپلکس ریزپوشانی‌شده اسانس‌های طبیعی گیاهان دارویی مرزه، آویشن، سیر و اولئورزین فلفل قرمز بود که مواد زیست‌فعال اصلی آن‌ها شامل کارواکرول، تیمول، آلیسین (به‌صورت پودری) می‌باشند. فیتاز مورداستفاده با نام تجاری 10000 PLUS MICROTECH متعلق به شرکت Guangdong VTR Bio-tech بود که هر گرم از آن حاوی۱۰۰۰۰ واحد آنزیم بود. میکروتِک ۱۰۰۰۰ پلاس وی.تی.آر نوعی آنزیم ۶-فیتاز نسل چهارم تولیدشده از باکتری اشریشیاکولی می‌باشد. جیره‌های آزمایشی برای تأمین احتیاجات مواد مغذی توصیه‌شده سویه راس-۳۰۸ (به‌جز کلسیم و فسفر) برای دوره‌های مختلف و مبتنی بر ذرت-کنجاله سویا تنظیم شدند (جدول ۱). برنامه‌های مدیریت پرورش جوجه‌ها، شامل دما، نور، واکسیناسیون، تراکم و بستر (۱×۱/۵متر) به‌طور یکسان برای تمام جوجه‌ها و مطابق با شرایط توصیه‌شده در راهنمای پرورش اجرا شد. در طول دوره آزمایش، آب و خوراک به‌صورت دسترسی آزاد در اختیار جوجه‌ها قرار داده شد. با توجه به نتایج مطالعات اخیر مبنی بر کم‌تر بودن نیاز کلسیم و فسفر نسبت به مقادیر توصیه‌شده راس ۳۰۸ (Kiani & Taheri, 2020)، در مطالعه حاضر فرض نیاز پایین‌تر از توصیه راهنمای تغذیه‌ای راس ۳۰۸ در مورد دو عنصر کلسیم و فسفر مبنا قرار گرفته و بنابراین دو نوع نیاز برای این عناصر (عادی و کاهش‌یافته) در طراحی آزمایش منظور گردید. سطح نیاز عادی در مراحل آغازین، رشد و پایانی برای کلسیم به‌ترتیب ۰/۹۶، ۰/۸۷ و ۰/۸۱ درصد و برای فسفر ۰/۴۸، ۰/۴۴ و ۰/۴۱ درصد در نظر گرفته شد که برابر با مقدار کلسیم و فسفر توصیه‌شده راهنمای سویه راس ۳۰۸ می‌باشد. سطح کاهش‌یافته نیاز کلسیم در مراحل آغازین، رشد و پایانی پرورش به‌ترتیب ۰/۸۶، ۰/۷۷ و ۰/۷۱ درصد و نیاز فسفر به‌ترتیب ۰/۴۳، ۰/۳۹ و ۰/۳۶ درصد منظور شد. دو نوع جیره پایه منفی (BD1 و BD2)، با کم‌کردن ۰/۱۲ درصد از فسفر قابل‌دسترس و ۰/۱۵ درصد از کلسیم کل جیره نسبت به نیازهای کلسیم و فسفر توصیه‌شده و کاهش‌یافته راس ۳۰۸ با توجه به بهترین مقدار ماتریس کلسیم و فسفر برای جیره حاوی مقادیر بالای فیتاز تهیه شد. توضیح این‌که، جیره پایه منفی یک (BD1) به‌عنوان سطح اول کلسیم و فسفر در نظر گرفته‌شده و با کم‌کردن ۰/۱۲ درصد از فسفر قابل دسترس و ۰/۱۵ درصد از کلسیم نسبت به نیاز توصیه‌شده در راهنمای تغذیه‌ای راس ۳۰۸، و جیره پایه منفی دو (BD1) براساس کاهش ۰/۱۲ درصد از فسفر قابل و ۰/۱۵ درصد از کلسیم نسبت به مقدار نیاز

فرض‌شده در مطالعه حاضر تهیه گردید (جیره کلسیم و فسفر کاهش‌یافته). بنابراین، با توجه به موارد فوق‌الذکر، سطح کلسیم جیره‌های پایه عادی حاوی ۰/۸۱، ۰/۷۲ و ۰/۶۶ درصد و سطوح عادی فسفر ۰/۳۶، ۰/۳۲ و ۰/۲۹ درصد در نظر گرفته شد. هم‌چنین سطح کاهش‌یافته کلسیم ۰/۷۱، ۰/۶۲ و ۰/۵۶ درصد و سطوح جدید فسفر ۰/۳۱، ۰/۲۷ و ۰/۲۴ درصد محاسبه گردید. با ترکیب سه سطح فیتاز و دو سطح کلسیم و فسفر بیان‌شده و دوسطح مکمل فایتوژنیکی (صفر و ۲۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خوراک)، ۱۲ تیمار موردنظر تنظیم شدند. جیره‌های پایه و ترکیب شیمیایی آن‌ها به‌ترتیب در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. اقلام خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های پایه مورداستفاده در سنین مختلف پرورش جوجه‌های گوشتی

اقلام خوراکی (درصد)	آغازین (یک تا ۱۰ روزگی)		رشد (۱۱ تا ۲۴ روزگی)		پایانی (۲۵ تا ۴۱ روزگی)	
	BD2	BD1	BD2	BD1	BD2	BD1
ذرت زرد	۵۴/۴۱	۵۳/۶۶	۶۰/۲۳	۵۹/۴۳	۶۵/۱۳	۶۴/۴۱
کنجاله سویا (۴۳/۸ درصد پروتئین‌خام)	۳۶/۶۵	۳۷/۰۳	۳۴/۹۷	۳۵/۱۱	۳۰/۳۸	۳۰/۴۹
کنجاله گلوتن ذرت (۵۷/۱ درصد پروتئین خام)	۴/۰۰	۴/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
روغن گیاهی	۱/۰۶	۱/۳۲	۱/۶۸	۱/۹۵	۱/۵۸	۱/۸۴
ال-ترئونین	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۸
دی-ال-متیونین	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۸
ال-لایزین	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۸
دی -کلسیم فسفات	۱/۲۱	۱/۵۳	۰/۹۶	۱/۲۷	۰/۸۱	۱/۱۲
کربنات‌کلسیم	۰/۶۴	۰/۷۳	۰/۵۷	۰/۶۵	۰/۵۳	۰/۶۲
نمک طعام	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
جوش‌شیرین	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۵
مکمل‌معدنی-ویتامینی	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰
آنزیمیت	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵
سالینومایسین (۱۲درصد)	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
موادمغذی						
انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری برکیلوگرم)	۲۹۰۰	۲۹۰۰	۲۹۵۰	۲۹۵۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰
پروتئین خام (درصد)	۲۳/۰۵	۲۳/۰۳	۲۰/۲۰	۲۰/۲۰	۱۸/۵۳	۱۸/۵۲
لیزین قابل هضم (درصد)	۱/۲۴	۱/۲۴	۱/۰۹	۱/۰۹	۰/۹۹	۰/۹۹
متیونین+سیستئین قابل هضم (درصد)	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۴	۰/۵۴
آرژنین قابل هضم (درصد)	۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۱	۱/۱
کلسیم (درصد)	۰/۷۱	۰/۸۱	۰/۶۲	۰/۷۲	۰/۵۶	۰/۶۶
فسفر در دسترس (درصد)	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۲۹
سدیم (درصد)	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
کلر (درصد)	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳

مصرف خوراک، وزن‌بدن، افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک در کل‌دوره (یک تا ۴۲ روزگی) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه عملکردرشد، در هر مرحله پرورشی از روش روز جوجه استفاده شد تا رشد و مصرف‌خوراک جوجه‌های تلف‌شده طی آزمایش منظور شود و از دقت آزمایش کاسته نشود. میانگین هزینه هر کیلوگرم خوراک به‌ازای هر کیلوگرم وزن زنده از حاصل‌ضرب متوسط قیمت هر کیلوگرم خوراک در ضریب تبدیل خوراک محاسبه شد.

در سن ۲۴ روزگی، واکسیناسیون علیه نیوکاسل به‌صورت آشامیدنی انجام شد. سپس در سنین ۳۱ و ۴۱ روزگی

به‌منظور تعیین عیار آنتی‌بادی علیه نیوکاسل به‌روش HI، به‌طور تصادفی از دو پرنده خون‌گیری به‌عمل آمد. برای ارزیابی پاسخ ایمنی جوجه‌ها، در روزهای ۲۱ و ۳۵ دو پرنده از هر تکرار انتخاب، و یک میلی‌لیتر سوسپانسیون هفت درصد گلبول قرمز گوسفندی شسته‌شده (SRBC) به عضله سینه آن‌ها تزریق شد. در روزهای ۲۸ و ۴۱ روزگی از پرندگان تزریق‌شده جهت بررسی میزان ایمونوگلوبولین‌های تولیدشده علیه گلبول خون گوسفند نمونه خون تهیه گردید.

جهت اندازه‌گیری کلسیم و فسفر خون و آنزیم‌های کبدی نیز در سن ۴۱ روزگی، دو پرنده از هر تکرار به‌طور تصادفی انتخاب‌شده و از طریق ورید بال و با استفاده از سرنگ‌های پنج میلی‌لیتری خون‌گیری انجام شد. اندازه‌گیری کلسیم و فسفر خون با استفاده از کیت‌های کلسیم پلاس و فسفرپلاس شرکت زیست‌شیمی و با استفاده از روش اسپکتوفتومتری انجام شد. هم‌چنین اندازه‌گیری آنزیم‌های کبدی شامل آلکالین فسفاتاز (ALP)، آسپارتات آمینوترانسفراز (AST)، آلانین آمینوترانسفراز (ALT) با استفاده از روش آنزیمی و به‌وسیله کیت تجاری شرکت پارس‌آزمون انجام شدند. نمونه‌های خون برای جداشدن سرم از لخته به‌مدت دو تا چهار ساعت در دمای اتاق نگهداری و به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت RPM ۳۰۰۰ سانتریفیوژ شدند و سرم آن‌ها در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد منجمد شده و تا زمان ارسال به آزمایشگاه در فریزر نگهداری شدند.

برای اندازه‌گیری قابلیت هضم ایلئومی مواد مغذی، از خاکستر نامحلول در اسید (خاک دیاتومه) به‌عنوان مارکر خارجی به‌صورت سرک استفاده شد. در سن ۳۸ روزگی میزان یک درصد خاکستر نامحلول در اسید به جیره اضافه شد و به‌مدت چهار روز (سه روز دوره عادت‌دهی و یک روز نمونه کشتار نمونه‌برداری) در اختیار جوجه‌ها قرار گرفت و در سن ۴۱ روزگی (روز چهارم نمونه‌برداری) دو قطعه جوجه از هر تکرار انتخاب و به‌روش قطع گردنی، کشتار و محتویات ایلئومی آن‌ها از حد فاصل زائده مکل تا پنج سانتی‌متر قبل از اسفنگتر ایلئوسکال جمع‌آوری شد. سپس ماده آلی، پروتئین خام، چربی‌خام و خاکستر خام، کلسیم و فسفر نمونه خوراک و محتویات ایلئومی اندازه‌گیری شد. سطح کلسیم در محتویات ایلئومی و نمونه‌های جیره با روش استاندارد و پس از تیتراسیون با پرمنگنات پتاسیم تعیین شد. پروتئین خام در نمونه‌های ایلئومی و خوراک طبق روش‌های آزمایشگاهی استاندارد اندازه‌گیری شد (AOAC, 2012). فسفر کل در نمونه ایلئومی جمع‌آوری‌شده و نمونه‌های جیره با استفاده از روش استاندارد پس از روش رنگ‌سنجی آمونیوم وانادات/مولیبدات (Method 965.17; AOAC, 2012). اندازه‌گیری شد. ماده خشک به‌وسیله خشک‌کردن نمونه‌ها در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت تعیین شد (Method 930.15; AOAC, 2012). خاکستر با قرار دادن نمونه در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت اندازه‌گیری گردید (Method 942.05; AOAC, 2012). قابلیت هضم ماده آلی پروتئین خام چربی خام و خاکستر خام با استفاده از رابطه (۱) زیر محاسبه شد (Osunbami *et al*., 2024):

$$DC = 100 - (100 \times (Mdiet/Mdigesta) \times Ndigesta/Ndiet)$$ رابطه ۱)

در رابطه بالا، DC، قابلیت هضم ماده مغذی؛Mdiet، درصد مارکر در خوراک؛Mdigesta، درصد مارکر در ماده هضمی؛ Nexcreta، درصد ماده مغذی در ایلئوم و Ndiet درصد ماده مغذی در جیره است. برای اندازه‌گیری خاکستر نامحلول در اسید ابتدا سه گرم نمونه ایلئوم و یا پنج گرم نمونه خوراک به بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری منتقل و به هر بشر ۱۰۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک چهار نرمال اضافه شد. سپس هر نمونه به‌مدت ۳۰ دقیقه روی هیتر قرار داده شد تا مایع نسبتاً همگنی حاصل شود. سپس محلول فوق از کاغذ صافی فاقد خاکستر عبور داده شد. پس‌ازآن، کاغذ صافی حاوی قسمت نامحلول خوراک درون بوته چینی انتقال و در کوره الکتریکی با دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت شش ساعت قرار داده شد. پس از آن بوته‌های چینی حاوی خاکستر با ترازوی دیجیتال توزین و میزان خاکستر نامحلول در اسید هر نمونه براساس وزن اولیه آن محاسبه شد.

داده‌های حاصل از این مطالعه ابتدا از لحاظ وجود داده‌های نامتعادل موردبررسی قرار گرفت و نرمال‌بودن داده‌های با آزمون‌های شپیرو–ویلک و کومولوگروف–اسمیرنوف تأیید شد. داده‌ها با استفاده از رویه LSmeans، نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ برای مدل (۲) تجزیه و میانگین‌ها با استفاده آزمون توکی در سطح معنی‌داری پنج درصد مقایسه شدند.

$$X_{ijlkl}= \mu + A_i+B_j+C_k+(AB)_{ij}+(AC)_{ck}+(BC)_{jk}+(ABC)_{ijk}+ e_{ijkl}$$ رابطه ۲)

در رابطه بالا، X_{ijlkl}، مقدار مشاهده‌شده؛ μ، میانگین داده‌ها؛ A_i، اثر سطوح فیتاز؛ B_j، اثر سطوح کلسیم و فسفر؛ C_k، اثر سطوح مکمل فایتوژنیکی؛ $(AB)_{ij}$، اثر متقابل بین سطوح فیتاز و سطوح کلسیم و فسفر؛ $(AC)_{ck}$، اثر متقابل بین سطوح فیتاز و سطوح مکمل فایتوژنیکی؛ $(BC)_{jk}$، اثر متقابل سطوح کلسیم و فسفر و سطوح مکمل فایتوژنیکی و $(ABC)_{ijk}$ اثر متقابل عوامل موردبررسی و e_{ijkl} خطای آزمایشی است.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳ . ۱. عملکرد رشد

نتایج مربوط به اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد رشد نهایی در سن ۴۱ روزگی جدول (۲) نشان داده شده است. به‌طور کلی میزان مصرف خوراک در جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی کلسیم و فسفر کاهش‌یافته بیش‌تر از جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی کلسیم و فسفر عادی بود، به‌طوری‌که میانگین مصرف خوراک در پرنده‌های تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی کلسیم و فسفر کم‌تر ۸۰/۳۳ گرم بیش‌تر از گروه‌های تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی کلسیم و فسفر بیش‌تر بود. پرندگان تغذیه‌شده با جیره حاوی ۲۰۰۰ واحد فیتاز به‌علاوه مکمل فایتوژنیک مصرف خوراک بیش‌تری نسبت به پرندگان تغذیه‌شده با جیره بدون افزودنی گیاهی و آنزیم داشتند (P<۰/۰۵). کم‌ترین مصرف خوراک مربوط به مصرف خوراک جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره بدون فیتاز و حاوی سطح کلسیم و فسفر عادی بود. با افزودن مقدار فیتاز میزان مصرف خوراک روند افزایشی داشت و همراه با مکمل فایتوژنیکی نیز مصرف خوراک روند افرایشی را نشان داد. جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی ۲۰۰۰ واحد فیتاز به‌علاوه مکمل فایتوژنیکی و با کاهش کلسیم و فسفر، میانگین وزن بیش‌تری نسبت به جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی ۲۰۰۰ واحد فیتاز و مکمل فایتوژنیکی و کلسیم و فسفر عادی داشتند (P<۰/۰۵)، هرچند که ضریب تبدیل این دو تیمار تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی ۲۰۰۰ واحد فیتاز و با کاهش کلسیم و فسفر و بدون مکمل فایتوژنیکی نیز با تیمار متناظر خود که بدون کاهش کلسیم و فسفر می‌باشد تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای از نظر میانگین وزن نهایی داشت (P<۰/۰۵)، اما با این وجود تفاوتی از لحاظ ضریب تبدیل خوراک نداشت. در این راستا، در یک بررسی سطح کلسیم و فسفر را عاملی در اثربخشی آنزیم فیتاز معرفی کردند. به‌نظر می‌رسد که تا حدودی کاهش کلسیم و فسفر با کاهش pH دستگاه گوارش و به‌ویژه در اوایل روده می‌تواند اثربخشی فیتاز را افزایش دهد و درنتیجه ممکن است عملکرد رشد را نسبت به جیره‌های با کلسیم و فسفر بالاتر بهبود دهد (Dersjant-Li *et al*., 2015). از طرفی پیشنهاد شده است که کاهش کلسیم جیره سبب کاهش سرعت عبور خوراک از دستگاه گوارش شده که ممکن است سبب افزایش میزان جذب مواد مغذی آزادشده توسط فیتاز شده باشد (Kiani & Taheri, 2020). در یک مطالعه (Rousseau *et al*., 2016) گزارش شده است که کاهش اندک کلسیم و فسفر به‌وسیله افزایش بیان ناقلین مربوط به انتقال این مواد معدنی به‌عنوان مکانیسم سازگاری با کمبود آن‌ها جبران می‌شود.

جدول ۲. اثر فیتاز، سطح کلسیم و فسفر، و ترکیبات فایتوژنیک بر عملکرد رشد در سن ۴۱ روزگی و هزینه هر کیلوگرم وزن زنده نهایی (ریال) جوجه‌های گوشتی

تیمارها (ترکیبی از عوامل)			پارامترهای عملکرد رشد			پارامتر اقتصادی
فیتاز (واحد بر کیلوگرم)	کلسیم و فسفر	فایتوژنیک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	مصرف خوراک (گرم/پرنده)	میانگین وزن (گرم)	ضریب تبدیل خوراک	هزینه خوراک هر کیلوگرم وزن زنده
صفر	عادی	صفر	۴۴۳۵^{d}	۲۶۹۶^{h}	۱/۶۵^{ab}	۲۸۵۸۰^{a}
		۲۰۰	۴۴۸۹^{cd}	۲۷۶۱^{fgh}	۱/۶۴^{abc}	۲۸۵۰۳^{ab}
۵۰۰		صفر	۴۵۱۸^{bcd}	۲۸۰۶^{efg}	۱/۶۱^{abcd}	۲۸۰۰۱^{abcde}
		۲۰۰	۴۵۳۷^{bcd}	۲۸۳۳^{def}	۱/۶۰^{bcd}	۲۸۰۹۹^{abcde}
۲۰۰۰		صفر	۴۵۶۲^{abcd}	۲۸۷۰^{cde}	۱/۵۹^{cd}	۲۷۷۱۹$^{c def}$
		۲۰۰	۴۵۸۸^{abc}	۲۹۱۱^{bc}	۱/۵۸^{d}	۲۷۷۳۲^{cdef}
صفر	کاهش‌یافته	صفر	۴۵۳۶^{bcd}	۲۷۵۱^{gh}	۱/۶۵^{ab}	۲۸۳۷۴^{abc}
		۲۰۰	۴۵۵۳^{abcd}	۲۷۹۹^{efg}	۱/۶۳^{abc}	۲۸۲۵۱^{abcd}
۵۰۰		صفر	۴۵۸۹^{abc}	۲۸۶۷^{cde}	۱/۶۰^{bcd}	۲۷۵۶۳^{def}
		۲۰۰	۴۵۹۰^{abc}	۲۸۹۴^{bcd}	۱/۵۹^{d}	۲۷۵۸^{def}
۲۰۰۰		صفر	۴۶۵۳^{ab}	۲۹۵۵^{ab}	۱/۵۸^{d}	۲۷۲۰۲^{f}
		۲۰۰	۴۶۹۱^{a}	۲۹۸۹^{a}	۱/۵۷^{d}	۲۷۳۵۹^{ef}
SEM[۱]			۱۲/۱۰	۱۲/۷۱	۰/۰۰۴۴	۷۴/۹۶
P value			۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

a-h: تفاوت میانگین‌ها با حروف غیرمشابه در هر ستون معنی‌دار است (P< ۰/۰۵).

۱. SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

با توجه به اطلاعات مندرج در جدول (۲)، کم‌ترین هزینه خوراک به‌ازای هر کیلوگرم وزن زنده مربوط به جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی ۲۰۰۰ واحد فیتاز، بدون مکمل فایتوژنیکی و با کاهش کلسیم و فسفر بود، اگرچه افزودن مکمل فایتوژنیکی از لحاظ آماری تفاوتی در هزینه خوراک به‌ازای هر کیلوگرم وزن زنده نهایی ایجاد نکرد. در اینجا کاهش ضریب تبدیل به‌همراه افزایش میانگین وزن سبب کاهش هزینه خوراک به‌ازای هر کیلوگرم وزن زنده شد، زیرا این شاخص از حاصل‌ضرب ضریب تبدیل خوراک در متوسط قیمت یک کیلوگرم مصرف‌شده در طول دوره محاسبه می‌گردد. هرچند که افزودن مکمل فایتوژنیکی و ۲۰۰۰ واحد فیتاز به جیره با کاهش کلسیم و فسفر تفاوت معنی‌داری با تیمار متناظر از لحاظ هزینه خوراک هر کیلوگرم وزن زنده ایجاد نکرد، اما با این وجود تفاوت وزن بیش‌تر از لحاظ رسیدن به وزن بازار در زمان کم‌تر دارای اهمیت می‌باشد.

۳ . ۲. قابلیت هضم

اثرات متقابل سه‌گانه بین سطح فیتاز، سطح کلسیم و فسفر و افزودن مکمل فایتوژنیکی بر قابلیت هضم ایلئومی ماده خشک، ماده آلی، کلسیم، فسفر، خاکستر و پروتئین در جدول (۳) نشان داده شده است. اثر متقابل عوامل مختلف بر قابلیت هضم فسفر معنی‌دار بود. نتایج نشان می‌دهد که در سطح معمول کلسیم و فسفر به‌جز در جیره بدون فیتاز، افزودن مکمل فایتوژنیکی سبب افزایش فسفر شد (P<۰/۰۵). در سطح کاهش‌یافته کلسیم و فسفر، افزودن مکمل فایتوژنیکی به‌جز سطح بالای فیتاز سبب افزایش قابلیت هضم فسفر شده است (P<۰/۰۵). تیمار حاوی FTU۲۰۰۰ فیتاز به هر کیلوگرم خوراک حاوی سطح کاهش‌یافته کلسیم و فسفر به‌علاوه ۲۰۰ میلی‌گرم مکمل فایتوژنیکی بیش‌ترین

قابلیت هضم فسفر را نسبت به جیره حاوی کلسیم و فسفر کاهش‌یافته و بدون افزودنی داشته است (افزایش ۳۴/۷ درصدی). هم‌چنین افزودن FTU۲۰۰۰ فیتاز در هر کیلوگرم خوراک حاوی سطح معمول کلسیم و فسفر به‌علاوه ۲۰۰ میلی‌گرم مکمل فایتوژنیکی در هر کیلوگرم خوراک سبب افزایش ۳۱/۲ درصدی در قابلیت هضم فسفر نسبت به حالت بدون مکمل فایتوژنیکی و مکمل آنزیمی در همان سطح از کلسیم و فسفر شده است. اثر متقابل مکمل فایتوژنیکی بر افزایش قابلیت هضم فسفر ممکن است به‌علت بهبود فلور میکروبی روده و در نهایت بهبود سطح سلول‌های جذبی روده باشد (Liu *et al*., 2023). مطالعات در زمینه اثرات مکمل‌های فایتوژنیکی بر قابلیت هضم مواد معدنی محدود می‌باشد. در این ارتباط، در مطالعه‌ای (Hafeez *et al*., 2016) نشان داده شد که استفاده از مکمل فایتوژنیکی حاوی تیمول و کارواکرول منجر به افزایش هضم فسفر گردید.

جدول ۳. اثرات متقابل فیتاز× سطح کلسیم فسفر× مکمل فایتوژنیکی بر قابلیت هضم مواد مغذی(درصد) در جوجه‌های گوشتی

اثرات متقابل سه‌گانه			قابلیت هضم مواد مغذی					
فیتاز (واحد بر کیلوگرم)	کلسیم و فسفر	فایتوژنیک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	ماده خشک	ماده آلی	کلسیم	فسفر	خاکستر	پروتئین
صفر	عادی	صفر	۶۷/۳	۶۸/۶	۵۹/۵	^{f}۶۰/۶	۴۷/۳	۷۵/۳
		۲۰۰	۶۷/۹	۶۹/۲	۵۹/۹	^{f}۶۲/۳	۴۸/۰	۷۵/۹
۵۰۰	عادی	صفر	۶۹/۳	۷۰/۶	۶۳/۹	^{e}۶۶/۵	۵۰/۰	۷۷/۱
		۲۰۰	۷۱/۷	۷۲/۹	۶۵/۶	^{cd}۷۲/۳	۵۳/۳	۷۸/۴
۲۰۰۰	عادی	صفر	۷۲/۵	۷۳/۷	۶۶/۶	^{c}۷۵/۹	۵۴/۱	۸۰/۳
		۲۰۰	۷۵/۵	۷۶/۶	۶۸/۹	^{b}۷۹/۴	۵۵/۹	۸۱/۷
صفر	کاهش‌یافته	صفر	۶۸/۹	۷۰/۱	۶۱/۷	^{e}۶۵/۰	۴۸/۲	۷۶/۲
		۲۰۰	۶۹/۳	۷۱/۹	۶۲/۹	^{d}۷۰/۳	۵۰/۶	۷۷/۸
۵۰۰	کاهش‌یافته	صفر	۷۰/۶	۷۳/۳	۶۶/۴	^{c}۷۴/۶	۵۲/۵	۷۸/۳
		۲۰۰	۷۲/۱	۷۴/۰	۶۷/۰	^{bc}۷۶/۹	۵۳/۲	۸۰/۵
۲۰۰۰	کاهش‌یافته	صفر	۷۶/۲	۷۷/۳	۷۰/۰	^{a}۸۶/۶	۵۶/۷	۸۱/۸
		۲۰۰	۷۶/۵	۷۷/۶	۷۴/۸	^{a}۸۷/۵	۵۷/۲	۸۱/۹
SEM[۱]			۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۹۵	۱/۳۵	۱/۲۴
P value								
فیتاز×سطح کلسیم و فسفر×فایتوژنیک			۰/۱۸۷	۰/۱۸۹	۰/۲۰۶	۰/۰۲۴۰	۰/۵۰۹	۰/۷۸۲

a-e: میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.

۱. SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول (۴)، افزودن مقادیر بالای فیتاز در جیره با کاهش کلسیم و فسفر سبب افزایش معنی‌دار قابلیت هضم کلسیم و فسفر نسبت به افزودن همین مقدار از فیتاز در جیره با کلسیم و فسفر بالاتر شده است (P<۰/۰۵). نشان داده شده است که افزایش کلسیم جیره به میزان قابل‌توجهی قابلیت هضم کلسیم و فسفر را در جوجه‌های گوشتی کاهش می‌دهد (Osunbami *et al*., 2024). در این راستا در مطالعه‌ای گزارش شد که اثر آنزیم فیتاز بر قابلیت هضم کلسیم و فسفر در جیره‌های دارای کلسیم کم‌تر از استاندارد به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد (Walk *et al*., 2024). ممکن است بالابودن مقدار فسفر (در جیره‌های با کلسیم و فسفر بیش‌تر) به‌عنوان محصول این آنزیم سبب کاهش فعالیت این آنزیم شده باشد، زیرا طبق قاعده کلی معمولاً با افزایش مقدار محصول و کاهش مقدار سوبسترا، فعالیت آنزیم کاسته می‌شود. از طرف دیگر باید در نظر داشت که کاهش کلسیم منجر به کاهش pH محیط و

ایجاد محیط بهینه برای فعالیت آنزیم فیتاز می‌شود (Dersjant-Li *et al*., 2015). همان‌طور که در جدول مشاهده می-شود، اثر متقابل بین سطح فیتاز و مکمل فایتوژنیکی بر قابلیت هضم کلسیم نیز معنی‌دار شده، به‌طوری‌که سطوح ۵۰۰ و FTU۲۰۰۰ آنزیم فیتاز در هر کیلوگرم جیره به‌علاوه مکمل فایتوژنیکی افزایش معنی‌دار قابلیت هضم کلسیم به‌دست آمد. نتایج یک پژوهش ناظر بر تأثیر مکمل فایتوژنیکی حاوی تیمول و کارواکرول در افزایش قابلیت هضم کلسیم و فسفر می‌باشد (Hafeez *et al*., 2016). تأثیر بر میکروفور روده و متعاقب آن سلامت دستگاه گوارش، سازوکاری است که معمولاً مکمل‌های فایتوژنیکی به‌وسیله آن بر قابلیت هضم تأثیر می‌گذارند. به‌نظر می‌رسد که بهبود سلامت روده در اثر مکمل فایتوژنیک همراه با آزادسازی مقدار بالای کلسیم افزوده‌شده تحت تأثیر سطوح بالای فیتاز عامل چنین افزایشی در قابلیت هضم کلسیم باشد.

جدول ٤. اثرات فیتاز × سطح کلسیم و فسفر، فیتاز× مکمل فایتوژنیکی و سطح کلسیم و فسفر× مکمل فایتوژنیکی بر قابلیت هضم مواد مغذی (درصد) در جوجه‌های گوشتی

اثرات متقابل دوگانه			قابلیت هضم مواد مغذی				
فیتاز (واحد بر کیلوگرم)	کلسیم و فسفر	فایتوژنیک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	ماده خشک	ماده آلی	کلسیم	فسفر	خاکستر	پروتئین
صفر	عادی	–	۶۷/۶	۶۸/۹	۵۹/۷^{e}	۶۱/۴^{e}	۴۷/۷	۷۵/۶
	کاهش یافته	–	۶۹/۷	۷۱/۰	۶۲/۳^{d}	۶۷/۷^{d}	۴۹/۴	۷۷/۰
۵۰۰	عادی	–	۷۰/۵	۷۱/۷	۶۴/۷^{c}	۶۹/۴^{d}	۵۱/۶	۷۷/۷
	کاهش‌یافته	–	۷۲/۵	۷۳/۶	۶۶/۷^{b}	۷۵/۷^{c}	۵۲/۹	۷۹/۴
۲۰۰۰	عادی	–	۷۴/۰	۷۵/۱	۶۷/۸^{b}	۷۷/۷^{b}	۵۵/۰	۸۱/۰
	کاهش‌یافته	–	۷۶/۳	۷۷/۵	۷۲/۴^{a}	۸۷/۱^{a}	۵۶/۹	۸۱/۹
SEM			۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۶۷	۰/۹۵	۰/۸۸
صفر	-	صفر	۶۸/۱	۶۹/۴	۶۰/۶^{e}	۶۲/۸	۴۷/۸	۷۵/۷
	-	۲۰۰	۶۹/۳	۷۰/۵	۶۱/۴^{e}	۶۶/۳	۴۹/۳	۷۶/۸
۵۰۰	-	صفر	۷۰/۷	۷۱/۹	۶۵/۲^{d}	۷۰/۵	۵۱/۲	۷۷/۷
	-	۲۰۰	۷۲/۳	۷۳/۵	۶۶/۳^{c}	۷۴/۶	۵۳/۲	۷۹/۴
۲۰۰۰	-	صفر	۷۴/۳	۷۵/۵	۶۸/۴^{b}	۸۱/۳	۵۵/۴	۸۱/۱
	-	۲۰۰	۷۶/۰	۷۷/۱	۷۱/۹^{a}	۸۳/۵	۵۶/۵	۸۱/۸
SEM			۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۶۷	۰/۹۶	۰/۸۸
–	عادی	صفر	۶۹/۷	۷۱/۰	۶۳/۴	۶۷/۶	۵۰/۵	۷۷/۶
=		۲۰۰	۷۱/۷	۷۲/۹	۶۴/۸	۷۲/۳	۵۲/۴	۷۸/۶
–	کاهش‌یافته	صفر	۷۲/۴	۷۲/۶	۶۶/۱	۷۵/۴	۵۲/۵	۷۸/۸
–		۲۰۰	۷۳/۳	۷۴/۵	۶۸/۳	۷۸/۲	۵۳/۶	۸۰/۰
SEM[1]			۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۵۵	۰/۷۸	۰/۷۲
P value								
فیتاز× سطح کلسیم و فسفر			۰/۹۵۸	۰/۹۱۲	۰/۰۴۴	۰/۰۳۹۰	۰/۹۳۳	۰/۹۰۳
فیتاز× فایتوژنیک			۰/۸۹۱	۰/۹۱۸	۰/۰۲۹۶	۰/۳۸۵	۰/۸۸۹	۰/۸۶۵
سطح کلسیم و فسفر×فایتوژنیک			۰/۲۵۹	۰/۲۷۱	۰/۳۵۲	۰/۴۵۲	۰/۶۱۹	۰/۸۶۳

a-e: میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.

۱. SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

با توجه به اطلاعات مندرج در جدول (۵)، افزایش مقدار فیتاز از صفر به ۵۰۰ و ۲۰۰۰ باعث تفاوت در قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی، پروتئین، خاکستر خام و هم‌چنین کلسیم و فسفر شد (P<۰/۰۵). مطالعات متعددی افزایش قابل‌توجه هضم کلسیم و فسفر را با افزودن سطوح افزایشی فیتاز به جیره جوجه‌های گوشتی گزارش کرده‌اند (Yang *et al*., 2018; Wang *et al*., 2021; Osunbami *et al*., 2024). در توافق با مطالعه حاضر، پژوهش‌گران دیگری (Wang *et al*., 2021) نیز افزایش خطی قابلیت هضم کلسیم و فسفر را با افزایش مقدار فیتاز جیره از ۲۵۰ به ۲۰۰۰ واحد فیتاز در هر کیلوگرم خوراک نشان دادند. در مطالعه دیگری، گزارش شد که افزایش مقدار فیتاز از صفر به ۵۰۰، سبب افزایش قابلیت هضم فسفر گردید و مقادیر سوپردوز فیتاز نسبت به مقدار معمول افزودن فیتاز موجب قابلیت هضم بیش‌تر فسفر شده، اما افزودن FTU۳۰۰۰ نسبت به FTU۱۵۰۰ تفاوت معنی‌داری نداشت (Sommerfeld *et al*., 2017). در مطالعه این پژوهش‌گران، مقادیر بالاتر فیتاز شامل FTU۱۵۰۰ و FTU۳۰۰۰ نسبت به مقدار معمول، اثر معنی‌داری بر قابلیت هضم کلسیم نداشت. در پژوهش دیگری (Wang *et al*., 2021) نشان داده شد که افزودن ۲۵۰۰ واحد فیتاز به هر کیلوگرم خوراک سبب افزایش قابلیت هضم ماده خشک، خاکستر، فسفر و راندمان انرژی نسبت به جوجه‌های تغذیه‌شده با ۱۰۰۰ واحد فیتاز در سن ۲۱ روزگی شد. با این وجود، در مطالعه آن‌ها مقدار بالای فیتاز در سن ۴۲ روزگی منجر به روند افزایشی قابلیت هضم ماده خشک و کلسیم و سبب افزایش معنی‌دار فسفر، خاکستر و انرژی شد. افزایش بیش‌تر قابلیت هضم مواد مغذی با استفاده از مقادیر بالای فیتاز نسبت به حالت افزودن مقدار معمول فیتاز (FTU۵۰۰) از خنثی‌شدن اثرات اسیدفایتیک در اتصال به مواد مغذی ناشی می‌گردد زیرا بخش قابل‌ملاحظه‌ای از اسیدفایتیک خوراک هیدرولیز می‌گردد (Wang *et al*., 2021).

جدول ۵. اثر ات اصلی مقدار فیتاز، سطح کلسیم و فسفر و افزودن مکمل فایتوژنیکی بر قابلیت هضم مواد مغذی (درصد)

اثرات اصلی	ماده خشک	ماده آلی	خاکستر	کلسیم	فسفر	پروتئین
فیتاز (واحد بر کیلوگرم)						
صفر	۶۸/۷^{c}	۶۹/۹^{c}	۴۸/۵^{c}	۶۱/۰^{c}	۶۴/۵^{c}	۷۶/۳^{c}
۵۰۰	۷۱/۵^{b}	۷۲/۷^{b}	۵۲/۲^{b}	۶۵/۷^{b}	۷۲/۶^{b}	۷۸/۶^{b}
۲۰۰۰	۷۵/۲^{a}	۷۶/۳^{a}	۵۵/۹^{a}	۷۰/۱^{a}	۸۲/۴^{a}	۸۱/۴^{a}
SEM	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۶۸	۰/۳۷	۰/۴۷	۰/۶۲
کلسیم و فسفر						
معمول	۷۰/۷^{b}	۷۱/۹^{b}	۵۱/۴^{b}	۶۴/۰۷^{b}	۶۹/۴۸^{b}	۷۸/۱
کاهش‌یافته	۷۲/۸^{a}	۷۴/۰^{a}	۵۳/۱^{a}	۶۷/۱۵^{a}	۷۶/۸۲^{a}	۷۹/۴
SEM	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۵۵	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۵۱
مکمل فایتوژنیکی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)						
صفر	۷۱/۰^{b}	۷۲/۳	۵۱/۵	۶۴/۷^{b}	۷۱/۵^{b}	۷۸/۲
۲۰۰	۷۲/۵^{a}	۷۳/۷	۵۳/۰	۶۶/۵^{a}	۷۴/۸^{a}	۷۹/۳
SEM	۰/۳۹	۰/۲۵	۰/۵۵	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۵۱
P value						
فیتاز	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
کلسیم و فسفر	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۴۲۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۸۱۹
فایتوژنیک	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۸	۰/۰۵۵۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۱۱۳

a-c: میانگین‌هایی با حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

در مطالعه حاضر افزودن مکمل فایتوژنیکی سبب افزایش قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی، خاکستر، کلسیم و فسفر شد (P<۰/۰۵)، اما بر قابلیت هضم پروتئین اثری نداشت. نتایج مطالعات متعدد اثرات مثبت مکمل‌های فایتوژنیکی به‌ویژه ترکیبات حاوی کارواکرول، تیمول و اولئورزین کاپسایسین در ارتقای معنی‌دار قابلیت هضم مواد مغذی را تأیید نموده‌اند (Mountzouris *et al*., 2011; Hafeez *et al*., 2016; Su *et al*., 2021; Gholami-Ahangaran *et al*., 2022). همسو با نتایج مطالعه حاضر، در پژوهشی (Hafeez *et al*., 2016) نشان داده شد که مکمل‌کردن جیره با ۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم جیره از مکمل فایتوژنیکی حاوی تیمول، کاواکرول و لیمونن سبب افزایش فسفر گردید. در مطالعه دیگری (Su *et al*., 2021) اثربخشی مقادیر ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از مکمل فایتوژنیکی حاوی کارواکرول، تیمول و سینامالدئید را بر قابلیت هضم ماده خشک، انرژی خام و عصاره اتری را گزارش نمودند، اما فقط سطوح ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم از مکمل فوق بر قابلیت هضم پروتئین تأثیر معنی‌داری داشت. بنابراین هرچند که مکانیسم تأثیر این نوع ترکیبات هنوز نامشخص است، اما برخلاف سایر موادمغذی، قابلیت هضم پروتئین وابسته به دوز می‌باشد. در توافق با یافته‌های این آزمایش، در مطالعه‌ای دیگر افزایش قابل‌ملاحظه قابلیت هضم ماده خشک و خاکستر با افزودن مکمل فایتوژنیکی حاوی مقادیر بالای کارواکرول ثبت شد، اما قابلیت هضم پروتئین تفاوتی با شاهد نداشت (Mountzouris *et al*., 2011).

پژوهش‌گران دیگری (Cengiz *et al*., 2016) گزارش کردند که اسانس رزماری فعالیت استروژن را تحریک‌نموده، رابطه مستقیمی با ابقای کلسیم داشته و بنابراین ممکن است به محافظت از ساختار اسکلتی کمک کنند. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده بر روی موش‌ها توسط این پژوهش‌گران نشان داد که اسانس آویشن و رزماری و مونوترپن‌ها، مهارکننده‌های بازجذب استخوان بوده و تأثیر مثبتی بر استخوان‌سازی دارند، اما آویشن در پیشگیری از تحلیل استخوان مؤثرتر از رزماری بود. اثرات اسانس‌های گیاهی بر جذب، قابلیت دسترسی و تجمع مواد معدنی در بافت‌ها ممکن است بسته به مواد فعال آن‌ها متفاوت، اما درک فعل و انفعالات بین این مواد فعال و موادمعدنی نیاز به پژوهش‌های بیش‌تری دارد. مطالعات اثرات قدرتمند ترکیبات فایتوژنیکی حاوی تیمول و کارواکرول را بر کاهش قابل‌توجه شمار باکتری‌های بیماری‌زا مانند اشریشیاکولی و کلستریدیوم پرفرنجنس نشان داده شده و هم‌چنین تعادل میکروبی روده با استفاده از ترکیبات فایتوژنیکی حاوی چنین اسانس‌هایی سبب بهبود جذب مواد مغذی می‌شود (Gholami-Ahangaran *et al*., 2022).

۳ . ۳. فراسنجه‌های خونی

اثرات متقابل سه‌گانه بین مقدار فیتاز، سطح کلسیم و فسفر و افزودن ماده فایتوژنیک بر میزان کلسیم، فسفر و آنزیم‌های کبدی موجود در خون در جدول (۶) نشان داده شده است. همان‌طورکه در جدول مشاهده می‌شود اثرات متقابل سه‌گانه بر مقدار مواد معدنی خون و آنزیم‌های کبدی معنی‌دار نبود، عدم معنی‌دارشدن اثرات متقابل نشان‌دهنده مستقل‌بودن اثرات عوامل اصلی بر فراسنجه‌های خونی مطالعه حاضر باشد. توضیح این‌که یعنی اثر یک عامل بر نتیجه یک فراسنجه با اثر عوامل دیگر روی فراسنجه تداخل ندارد و اثرات آن‌ها روی هم افزایشی یا کاهشی نیست.

با توجه به نتایج جدول (۷)، اثرات متقابل دوگانه موجود بین عوامل مختلف بر مقدار کلسیم و فسفر و آنزیم‌های کبدی موجود در خون معنی‌دار نشد. با توجه به نتایج جدول‌های (۶) و (۷) که مربوط به اثرات متقابل سه‌گانه و دوگانه می‌باشند (عدم معنی‌داری)، می‌توان نتیجه گرفت که اثرات اصلی مقدار فیتاز، سطح کلسیم و فسفر و مکمل فایتوژنیکی بر فراسنجه‌های خونی مستقل بوده و به تنهایی قابل تفسیر می‌باشند.

جدول ٦. اثرات متقابل فیتاز× سطح کلسیم فسفر × مکمل فایتوژنیکی بر مواد معدنی خون و آنزیم‌های کبدی جوجه‌های گوشتی

اثرات متقابل سه‌گانه			مواد معدنی و آنزیم‌های کبدی سرم خون			
فیتاز (واحد بر کیلوگرم)	کلسیم و فسفر	فایتوژنیک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کلسیم (میلی‌گرم/ دسی‌لیتر)	فسفر (میلی‌گرم/ دسی‌لیتر)	ALP (واحد بین‌المللی/ لیتر)	ALT (واحد بین‌المللی/ لیتر)	AST (واحد بین‌المللی/ لیتر)
صفر	عادی	صفر	۱۱/۵	۵/۴	۶۳۳۶/۳	۳۵/۰۰	۲۴۳/۳
		۲۰۰	۱۰/۷	۵/۸	۵۹۴۵/۰	۳۵/۰۰	۲۴۲/۵
۵۰۰	عادی	صفر	۱۰/۷	۶/۲	۵۵۹۳/۳	۳۴/۲۵	۲۴۶/۰
		۲۰۰	۱۰/۶	۶/۵	۴۶۲۸/۳	۳۴/۲۵	۲۴۲/۵
۲۰۰۰	عادی	صفر	۱۰/۰	۶/۴	۴۴۲۵/۰	۳۱/۰۰	۲۴۰/۰
		۲۰۰	۹/۵	۶/۶	۴۰۶۳/۳	۳۱/۰۰	۲۴۸/۳
صفر	کاهش‌یافته	صفر	۱۱/۶	۵/۴	۶۴۴۲/۳	۳۷/۰۰	۲۴۶/۰
		۲۰۰	۱۱/۳	۵/۷	۵۹۴۵/۰	۳۶/۰۰	۲۴۲/۵
۵۰۰	کاهش‌یافته	صفر	۱۰/۹	۶/۰	۵۵۸۶/۸	۳۴/۷۵	۲۲۷/۰
		۲۰۰	۱۰/۷	۶/۹	۵۰۷۱/۸	۳۳/۵۰	۲۶۷/۸
۲۰۰۰	کاهش‌یافته	صفر	۱۰/۵	۷/۰	۴۷۳۳/۸	۳۴/۲۵	۲۷۷/۸
		۲۰۰	۱۰/۰	۷/۰	۴۳۹۱/۸	۳۰/۷۵	۲۷۴/۰
SEM[۱]			۰/۳۱	۰/۲۳	۴۵۷/۴	۰/۹۵	۲۰/۷
P value							
فیتاز×سطح کلسیم و فسفر×فایتوژنیک			۰/۶۵۸	۰/۴۲۵	۰/۹۰۴	۰/۸۲۸	۰/۸۲۹

۱. SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

جدول ۷. اثرات فیتاز × سطح کلسیم و فسفر، فیتاز× مکمل فایتوژنیکی و سطح کلسیم و فسفر× مکمل فایتوژنیکی بر مواد معدنی خون و آنزیم‌های کبدی جوجه‌های گوشتی

اثرات متقابل دوگانه			مواد معدنی و آنزیم‌های کبدی سرم خون				
فیتاز (واحد بر کیلوگرم)	کلسیم و فسفر	فایتوژنیک (میلی‌گرم/ کیلوگرم)	کلسیم (میلی‌گرم/ دسی‌لیتر)	فسفر (میلی‌گرم/ دسی‌لیتر)	ALP (واحد بین‌المللی بر لیتر)	ALT (واحد بین‌المللی بر لیتر)	AST (واحد بین‌المللی بر لیتر)
صفر	عادی	–	۱۱/۱	۵/۶	۶۱۴۰/۶	۳۵/۰	۲۴۴/۹
	کاهش یافته	–	۱۱/۴	۵/۵	۶۱۹۳/۶	۳۶/۵	۲۴۴/۳
۵۰۰	عادی	–	۱۰/۷	۶/۴	۵۱۱۰/۸	۳۴/۳	۲۴۴/۱
	کاهش یافته	–	۱۰/۸	۶/۵	۵۱۲۹/۳	۳۴/۱	۲۴۷/۴
۲۰۰۰	عادی	–	۹/۸	۶/۵	۴۲۴۴/۱	۳۱/۰	۲۴۴/۰
	کاهش یافته	–	۱۰/۲	۷/۰	۴۵۶۲/۸	۳۲/۵	۲۷۵/۹
SEM			۰/۲۲	۰/۱۶	۳۲۳/۵	۱/۱۲	۱۴/۶
صفر	-	صفر	۱۱/۶	۵/۳۹	۶۳۸۹/۳	۳۶/۰	۲۴۴/۶
	-	۲۰۰	۱۱/۰	۵/۷۴	۵۹۴۵/۰	۳۵/۵	۲۴۲/۵
۵۰۰	-	صفر	۱۰/۸	۶/۱۴	۵۵۹۰/۰	۳۴/۵	۲۳۳/۵
	-	۲۰۰	۱۰/۷	۶/۶۸	۴۵۵۰/۰	۳۳/۹	۲۵۸/۰
۲۰۰۰	-	صفر	۱۰/۲	۶/۶۹	۴۵۷۹/۴	۳۲/۶	۲۶۷/۰
	-	۲۰۰	۹/۸	۶/۸۲	۴۲۲۷/۵	۳۰/۹	۲۵۲/۸
SEM			۰/۵۳	۰/۱۶	۰/۵۲	۱/۱۲	۱۴/۶
–	عادی	صفر	۱۰/۷	۶/۰	۵۴۵۱/۵	۳۳/۴	۲۴۶/۵
=		۲۰۰	۱۰/۳	۶/۳	۴۸۷۸/۸	۳۳/۴	۲۴۰/۸
–	کاهش‌یافته	صفر	۱۱/۰	۶/۱	۵۵۸۷/۶	۳۵/۳	۲۵۰/۳
–		۲۰۰	۱۰/۶	۶/۵	۵۱۳۶/۲	۳۳/۴	۲۶۱/۴
SEM			۰/۱۸	۰/۱۳	۲۶۴/۱	۰/۹۱	۱۱/۹
P value							
فیتاز×سطح کلسیم و فسفر			۰/۷۴۹	۰/۲۴۰	۰/۹۱۸	۰/۷۰۶	۰/۵۱۱
فیتاز× فایتوژنیک			۰/۶۳۵	۰/۶۳۶	۰/۸۲۳	۰/۸۲۸	۰/۴۸۵
سطح کلسیم و فسفر×فایتوژنیک			۰/۸۳۹	۰/۲۷۱	۰/۸۱۹	۰/۳۰۱	۰/۶۱۹

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

داده‌های حاصل از اثرات عوامل آزمایشی بر فراسنجه‌های خونی در جدول (۸) نشان داده شده است. افزایش مقدار فیتاز از صفر به FTU۲۰۰۰ در هر سبب افزایش در غلظت فسفر خون شد (P<۰/۰۵). برخلاف فسفر، مقدار کلسیم سرم با افزایش فیتاز جیره کاهش قابل‌ملاحظه‌ای یافت (P<۰/۰۵). کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم کبدی آلکالین فسفاتاز و آلانین آمینوترانسفراز با افزایش مقدار فیتاز جیره مشاهده می‌شود (P<۰/۰۵)، اما مقدار آنزیم آسپارتات آمینوترانسفراز تحت تأثیر سطح فیتاز قرار نگرفت نتایج مطالعه بسیاری کاهش کلسیم خون، افزایش فسفر و کاهش فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز را با افزودن فیتاز به جیره را گزارش نموده‌اند (Manobhavan *et al*., 2016; Liu *et al*., 2023). همسو با نتایج این مطالعه، پژوهش‌گران دیگری (Farhadi *et al*., 2017) با افزایش مقدار آنزیم فیتاز در جیره کاهش معنی‌داری کلسیم و افزایش مقدار فسفر خون را به‌دست آوردند. هم‌چنین در مطالعه دیگری، با افزایش مقدار فیتاز جیره از صفر به مقادیر ۵۰۰، ۲۵۰۰ و FTU۵۰۰۰، کاهش کلسیم و افزایش فسفر خون جوجه‌های گوشتی را در سن ۳۵ روزگی گزارش شد (Manobhavan *et al*., 2016). در مقابل، طی یک تحقیق (Sommerfeld *et al*., 2017) با افزایش مقدار فیتاز، شاهد افزایش معنی‌دار قابلیت هضم کلسیم و فسفر جیره بودند، اما تفاوتی را در غلظت مواد معدنی خون مشاهده نکردند. نشان داده شده است که در جیره‌های دارای کمبود فسفر، با ثابت نگه‌داشتن کلسیم (۰/۵ درصد) و افزایش فسفر جیره (از ۰/۰۸ به ۰/۳۸ درصد)، میزان فسفر خون افزایش و کلسیم کاهش می‌یابد، تا این‌که ابقای فسفر غیر فیتات به وضعیت پایدار برسد. بنابراین رسیدن به حالت پایدار ابقای فسفر با افزایش فسفر و کاهش کلسیم خون یک مکانیسم فیزیولوژیکی است که در هنگام افزودن فیتاز به جیره انتظار رخدادن آن می‌رود (Rousseau *et al*., 2016). اگرچه هر یک از عوامل مختلف به‌طور جداگانه سبب افزایش قابلیت هضم کلسیم و فسفر جیره شد، اما سطوح کلسیم و فسفر خون همراه با این افزایش هضم تغییر نکرد. این نتایج ناظر بر کنترل و حفظ حالت پایدار مقادیر اجزای موجود در خون از طریق مکانیسم‌های هموستازی می‌باشد (Rousseau *et al*., 2016).

جدول ۸. اثر مقدار فیتاز، سطح کلسیم و فسفر و افزودن مکمل فایتوژنیکی بر مواد معدنی خون و آنزیم‌های کبدی جوجه‌های گوشتی

اثرات اصلی	کلسیم (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	فسفر (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	ALP (واحد بین‌المللی/ لیتر)	ALT (واحد بین‌المللی/ لیتر)	AST (واحد بین‌المللی/ لیتر)
فیتاز (واحد بر کیلوگرم)					
صفر	۱۱/۳^{c}	۵/۶^{c}	۶۱۶۷/۱^{a}	۳۵/۸^{a}	۲۴۳/۶
۵۰۰	۱۰/۷^{b}	۶/۴^{b}	۵۲۲۰/۰^{b}	۳۴/۲^{a}	۲۴۵/۸
۲۰۰۰	۱۰/۰^{a}	۶/۸^{a}	۴۴۰۳/۴^{c}	۳۱/۸^{b}	۲۴۹/۹
SEM	۰/۳۸	۰/۱۱	۲۲۸/۷	۰/۷۹	۱۰/۳۴
کلسیم و فسفر					
معمول	۱۰/۵	۶/۲	۵۱۶۵/۲	۳۳/۴	۲۴۳/۷
کاهش‌یافته	۱۰/۸	۶/۳	۵۳۶۱/۹	۳۴/۴	۲۵۵/۸
SEM	۰/۱۳	۰/۰۹۳	۱۸۶/۷۵	۰/۶۵	۸/۴۵
فایتوژنیک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)					
صفر	۱۰/۹^{a}	۶/۱^{b}	۵۵۲۰/۵^{a}	۳۴/۴	۲۴۸/۴
۲۰۰	۱۰/۵^{b}	۶/۴^{a}	۵۰۰۷/۵^{b}	۳۳/۴	۲۵۱/۱
SEM	۰/۱۳	۰/۰۹۳	۱۸۶/۷۵	۰/۶۵	۸/۴۴
P value					
فیتاز	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۹	۰/۳۸۶
کلسیم و فسفر	۰/۱۰۷	۰/۲۱۱	۰/۴۶۱	۰/۳۰۱	۰/۳۱۵
فایتوژنیک	۰/۰۳۸۸	۰/۰۱۳۷	۰/۰۴۶۴	۰/۳۰۱	۰/۸۲۰۰

a-c: میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.
SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

در توافق با مطالعه حاضر، یافته‌های پژوهش دیگری (Kriseldi *et al*., 2021) که افزایش سطح فیتاز جیره، منتج به کاهش سطح آلکالین فسفاتاز پلاسما گردید. افزایش فعالیت آلکالین فسفاتاز (ALP) با ناهنجاری‌های استخوانی مرتبط بوده و ممکن است مربوط به کمبود کلسیم و فسفر یا نسبت بالای کلسیم به فسفر باشد. هم‌چنین، گفته می‌شود که کاهش فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز با افزودن فیتاز به جیره‌های حاوی فسفر پایین احتمالاً به‌علت کاهش بیان این آنزیم در نتیجه افزایش دسترسی فسفر است (Fardadi *et al*., 2017). ALP، آنزیمی است که عامل اصلی معدنی‌شدن استخوان است. با توجه به عملکرد آن، غلظت ALP در گردش خون را می‌توان با کلسیم و فسفر جیره تغییر داد. به‌عنوان مثال، در یک دوره آزمایشی ۲۱ روزه، غلظت ALP پلاسما در جوجه‌های گوشتی با افزایش فسفر غیرفیتات جیره از ۴/۵ به ۵/۵ گرم بر کیلوگرم، پنج درصد کاهش یافت (Baradaran *et al*., 2017)، اما در تضاد با نتایج مطالعه حاضر هیچ تغییری در مقدار آلکالین‌فسفاتاز خون پس از شش ساعت تغذیه جیره‌های حاوی مقادیر مختلف فیتاز ثبت نگردید. این پژوهش‌گران عدم تفاوت در غلظت آلکالین‌فسفاتاز پلاسما را به مکانیسم هموستاتیک فسفر و کلسیم پلاسما نسبت دادند که ممکن است بیش از شش ساعت طول بکشد.

کاهش مقدار کلسیم و فسفر جیره اثر معنی داری بر میزان کلسیم و فسفر خون و آنزیم‌های کبدی نداشت. در این راستا، گفته می‌شود که با کاهش مقدار فسفر جیره، بیان ژن‌های سدیم–فسفات ترانسپورتر۲ افزایش می‌یابد و با توجه به این‌که این ترانسپورتر نقش اصلی در انتقال فسفر دارد، می‌تواند تا حدودی کمبود اندک فسفر را با افزایش راندمان جذب جبران نماید. در مورد عدم تغییر سطح کلسیم خون نیز نظر بر این است که جذب فعال کلسیم در هنگام کاهش اندک کلسیم به‌عنوان مکانیسم تنظیمی عمل می‌کند (Rousseau *et al*., 2016). هم‌چنین گفته می‌شود که کاهش کلسیم جیره سبب کاهش زمان عبور خوراک از دستگاه گوارش و افزایش راندمان جذب مواد مغذی می‌شود. این فرایند احتمالاً با هضم بهتر اسیدهای چرب در هنگام کاهش کلسیم در ارتباط است، زیرا اسیدهای چرب ضروری سبب افزایش بیان پپتید YY و کندشدن حرکات روده می‌شوند (Kiani *et al*., 2020).

در این پژوهش افزودن مکمل فایتوژنیکی سبب کاهش کلسیم، افزایش فسفر و کاهش میزان آنزیم آلکالین‌فسفاتاز خون شد (P<۰/۰۵)، اما اثر معنی‌داری بر مقدار آنزیم آسپارتات آلانین ترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز نداشت. کاهش کلسیم خون تحت تأثیر مکمل فایتوژنیکی منطبق با نتایج پژوهش‌گران دیگری می‌باشد (Pirgozliev *et al*., 2023). در انطباق با نتایج مطالعه حاضر، یافته‌های سایر پژوهش‌گران، نیزکاهش فعالیت آلکالین‌فسفاتاز را با استفاده از مکمل فایتوژنیکی در جیره جوجه‌های گوشتی را تأیید نمود (Farhadi *et al*., 2017; Hesabi Nameghi *et al*., 2019).

۳ . ۴ . ایمنی هومورال

در جدول (۹)، اثرات متقابل سه‌گانه بین مقدار فیتاز، سطح کلسیم و فسفر و مکمل فایتوژنیکی بر شاخص‌های ایمنی خلاصه شده است که ناظر بر معنی‌دار نبودن این نوع اثرات می‌باشد. این عدم معنی‌داری اثرات متقابل نشان‌دهنده این موضوع است که عوامل موردبررسی ممکن فقط به‌صورت مستقل بر تحریک تولید ایمونوگلوبین‌های خون علیه گلبول-قرمز گوسفند اثرگذار باشد. به‌عبارت دیگر، اثر هرکدام از عوامل بر شاخص موردبررسی مستقل بوده است.

اثرات متقابل دوگانه بین فاکتورهای مختلف بر تیتر آنتی‌بادی علیه واکسن بیماری نیوکاسل در سنین ۳۱ و ۴۱، ایمونوگلوبولین‌های M و G و هم‌چنین مجموع آن‌ها علیه گلبول قرمز گوسفند در سنین ۲۸ و ۴۱ در جدول (۱۰) نشان داده شده است. با توجه به داده‌های این جدول، اثرات متقابل دوگانه بر تیتر نیوکاسل و ایمونوگلوبولین‌های تولیدشده معنی‌دار نشد. بنابراین باید به بررسی اثرات عوامل اصلی بر فراسنجه‌های خونی مرتبط با ایمنی پرداخته شود.

جدول ۹. اثرات متقابل فیتاز× سطح کلسیم فسفر× مکمل فایتوژنیکی بر ایمنی جوجه‌های گوشتی (log_2)

اثرات متقابل سه‌گانه			۲۸ روزگی			۳۱ روزگی	٤١ روزگی			
فیتاز (واحد بر کیلوگرم)	کلسیم و فسفر	فایتوژنیک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Total SRBC	IgM	IgG	ND1	Total SRBC	IgM	IgG	ND2
صفر	عادی	صفر	۴/۰	۲/۸	۱/۳	۳/۸	۵/۵	۲/۰	۳/۵	۴/۰
		۲۰۰	۴/۸	۳/۳	۱/۵	۴/۳	۶/۸	۲/۵	۴/۳	۵/۵
۵۰۰	عادی	صفر	۵/۰	۳/۳	۱/۸	۴/۳	۶/۸	۱/۵	۵/۳	۵/۳
		۲۰۰	۵/۰	۳/۳	۱/۸	۴/۵	۷/۰	۲/۳	۴/۸	۶/۳
۲۰۰۰	عادی	صفر	۵/۰	۳/۳	۱/۸	۵/۳	۷/۳	۱/۸	۵/۵	۶/۵
		۲۰۰	۵/۳	۳/۵	۱/۸	۶/۰	۷/۳	۲/۰	۵/۳	۷/۰
صفر	کاهش‌یافته	صفر	۳/۸	۲/۵	۱/۳	۴/۰	۵/۳	۲/۰	۳/۳	۴/۳
		۲۰۰	۴/۸	۳/۳	۱/۵	۴/۵	۶/۸	۱/۸	۵/۰	۵/۳
۵۰۰	کاهش‌یافته	صفر	۵/۰	۳/۳	۱/۸	۵/۵	۷/۰	۲/۰	۵/۰	۶/۵
		۲۰۰	۵/۳	۳/۵	۱/۸	۵/۳	۷/۳	۲/۰	۵/۳	۶/۸
۲۰۰۰	کاهش‌یافته	صفر	۵/۵	۳/۵	۲/۰	۵/۵	۷/۸	۱/۵	۶/۳	۶/۵
		۲۰۰	۶/۰	۴/۰	۲/۰	۵/۸	۸/۰۰	۲/۰	۶/۰	۷/۰
[1]SEM			۰/۵۱	۰/۳۷	۰/۲۴	۰/۶۰۳	۰/۶۹	۰/۲۸	۰/۴۲	۰/۶۷
P value										
فیتاز × سطح کلسیم و فسفر × فایتوژنیک			۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۴۵	۰/۹۸۹	۰/۳۵۵	۰/۸۳۹	۰/۹۲۱

SRBC: مجموع آنتی‌آبادی‌های تولیدشده علیه تزریق گلبول قرمز شسته‌شده گوسفند. IgM: ایمونوگلوبولین M، IgG: ایمونوگلوبولین G، ND1: تیتر اولیه نیوکاسل؛ ND2: تیتر ثانویه نیوکاسل.

۱. SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

با توجه به داده‌های موجود در جدول (۱۱)، در سن ۲۸ روزگی افزایش مقدار فیتاز از صفر به FTU۲۰۰۰ سبب افزایش مقدار ایمونوگلوبولین G شده (P<۰/۰۵) و اثر آن بر افزایش ایمونوگلوبولین M تمایل به معنی‌داری داشت. با این وجود، افزودن فیتاز به‌طور کلی منجر به افزایش معنی‌دار مجموع ایمونوگلوبولین‌های سرم در سن ۲۸ روزگی گردید (P<۰/۰۵). سطوح ۵۰۰ و ۲۰۰۰ واحد فیتاز به هر کیلوگرم جیره سبب افزایش ایمونوگلولولین G در سن ۴۱ روزگی گردید (P<۰/۰۵)، اما اثری بر مقدار ایمونوگلوبولین M نداشت. افزایش ایمنی علیه SRBC (مجموع ایمونوگلوبین‌ها) با افزودن فیتاز به جیره در مطالعه حاضر با یافته‌های مطالعه دیگری (Khodambashi Emami *et al*., 2013) همخوانی دارد. آن‌ها گزارش کردند که افزودن فیتاز به جیره جوجه‌های گوشتی سبب بهبود قابل‌توجهی در تیتر علیه SRBC گردید و هم‌چنین مقدار ایمونوگلوبولین G نیز با افزودن فیتاز افزایش معنی‌داری در مطالعه آن‌ها داشت. ایمونوگلوبولین M، ایمونوگلوبولین اصلی تولیدشده در مدت پاسخ‌های ایمنی اولیه است. مقادیر کمی از این مولکول‌های ایمنی در پاسخ‌های ثانویه تولید می‌شود. اگرچه این ایمونوگلوبولین در مقادیر کم‌تری تولید می‌شود اما در فعال‌سازی تکمیلی، اپسونیزاسیون (علامت‌گذاری پاتوژن‌ها برای حذف توسط فاگوسیت‌ها)، خنثی‌کردن ویروس‌ها و آگلوتیناسیون (چسبیدن آنتی‌ژن‌ها و برخی از کلاس‌های آنتی‌بادی‌ها) کارآمدتر از ایمونوگلوبولین G است. افزودن فیتاز در سطح ۵۰۰ و FTU۲۰۰۰ سبب بهبود معنی‌دار تیتر آنتی‌بادی علیه نیوکاسل در سنین ۲۸ و ۴۱ روزگی نسبت به سطح صفر گردید (P<۰/۰۵). پژوهش‌گران دیگری (Zarghi *et al*., 2022) در یک بررسی نشان دادند که افزودن فیتاز علاوه بر افزایش قابلیت هضم مواد مغذی می‌تواند تیتر آنتی‌بادی علیه نیوکاسل و ویژگی‌های روده تأثیر داشته باشد. هم‌چنین طی یک مطالعه (Liu *et al*., 2023) اثر معنی‌دار فیتاز بر ایمنی علیه نیوکاسل را گزارش نمودند. یکی از موارد اثرگذار توسط فیتاز، افزایش دسترسی مواد مغذی اتصال‌یافته به مولکول اسیدفایتیکی به‌ویژه روی می‌باشد. مشخص شده است که فیتاز دسترسی عنصر روی را که نقشی مهم در ایمنی طیور دارد به میزان قابل‌توجهی نسبت به سایر موادمعدنی به دام افتاده در کیلات قدرتمند اسیدفایتیک افزایش

می‌دهد. اهمیت این عنصر به‌تازگی در هنگام مطالعات با استفاده از مقادیر بالای روی ریزپوشانی‌شده با هدف حذف اثرات متقابل با فیتات و یا سایر موادمعدنی به‌خوبی مشخص شده است (Ghasemi *et al*., 2023).

کاهش مقدار کلسیم و فسفر اثر معنی‌داری بر ایمونوگلوبولین‌های M و G، مجموع ایمونوگلوبولین‌ها و نیز عیار آنتی‌بادی علیه بیماری نیوکاسل در سنین مختلف نداشت. نتایج مطالعه‌ای در مورد اثر مقدار کلسیم و فسفر جیره روی سیستم ایمنی در دسترس نیست، اما به‌نظر می‌رسدکه کاهش کلسیم و فسفر موجب نوعی تنش تغذیه‌ای و القای اثر سوء بر ایمنی داشته باشد. عدم تفاوت معنی‌دار در سطوح ایمونوگلوبولین‌ها با کاهش اندک کلسیم و فسفر جیره می‌تواند نشانه‌ای از سیستم هموستازی بدن در جذب بهتر این عناصر برای حفظ حالت پایدار داخلی باشد این موضوع حفظ تعادل کلسیم و فسفر خون در هنگام کاهش ابقای کلسیم و فسفر با افزایش سطوح کلسیم و فسفر قابل‌توجیه است (Rousseau *et al*., 2016).

جدول ۱۰. اثرات فیتاز × سطح کلسیم و فسفر، فیتاز× مکمل فایتوژنیکی و سطح کلسیم و فسفر× مکمل فایتوژنیکی بر ایمنی جوجه‌های گوشتی (log_2)

اثرات متقابل دوگانه			۲۸روزگی			۳۱روزگی	۴۱روزگی			
فیتاز (واحد بر کیلوگرم)	کلسیم و فسفر	فایتوژنیک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Total SRBC	IgM	IgG	ND1	Total SRBC	IgM	IgG	ND2
صفر	عادی	–	۴/۴	۳/۰	۱/۴	۴/۰	۶/۱	۲/۳	۳/۹	۴/۸
	کاهش‌یافته	–	۴/۳	۲/۹	۱/۴	۴/۳	۶/۰	۱/۹	۴/۱	۴/۸
۵۰۰	عادی	–	۵/۰۰	۳/۳	۱/۸	۴/۴	۶/۹	۱/۹	۵/۰	۵/۸
	کاهش‌یافته	–	۵/۱	۳/۴	۱/۸	۵/۴	۷/۱	۲/۰	۵/۱	۶/۶
۲۰۰۰	عادی	–	۵/۴	۳/۴	۱/۸	۵/۶	۷/۳	۱/۹	۵/۴	۶/۸
	کاهش‌یافته	–	۶/۱	۳/۸	۲/۰	۵/۶	۷/۹	۱/۸	۶/۱	۶/۸
SEM			۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۱۹	۰/۴۴	۰/۴۷
صفر	-	صفر	۳/۹	۲/۶	۱/۳	۳/۹	۵/۴	۲/۰	۳/۸	۴/۱
	-	۲۰۰	۴/۹	۳/۳	۱/۵	۴/۴	۶/۸	۲/۱	۴/۶	۵/۴
۵۰۰	-	صفر	۵/۰	۳/۳	۱/۸	۴/۹	۶/۹	۱/۸	۵/۱	۵/۹
	-	۲۰۰	۵/۱	۳/۴	۱/۸	۴/۹	۷/۱	۲/۱	۵/۰	۶/۵
۲۰۰۰	-	صفر	۵/۳	۳/۴	۱/۹	۵/۴	۷/۵	۱/۶	۵/۹	۶/۵
	-	۲۰۰	۵/۶	۳/۸	۱/۹	۵/۴	۷/۶	۲/۰	۵/۶	۷/۰
SEM			۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۴۲	۰/۴۹	۰/۱۹	۰/۴۴	۰/۴۷
–	عادی	صفر	۴/۷	۳/۰	۱/۶	۴/۴	۶/۵	۱/۸	۴/۸	۵/۳
=		۲۰۰	۵/۰	۳/۳	۱/۷	۴/۹	۷/۰	۲/۳	۴/۸	۶/۳
–	کاهش‌یافته	صفر	۴/۸	۳/۱	۱/۶۷	۵/۰	۶/۷	۱/۸	۴/۸	۵/۸
–		۲۰۰	۵/۳	۳/۶	۱/۸	۵/۲	۷/۳	۱/۹	۵/۴	۶/۳
SEM			۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۳۴	۰/۴۴	۰/۱۶	۰/۴۲	۰/۳۸
P value										
فیتاز×سطح کلسیم و فسفر			۰/۵۶۹	۰/۶۳۰۳	۰/۶۸۹	۰/۲۴۹	۰/۷۴۷	۰/۷۵۴	۰/۴۵۷	۰/۵۶۷
فیتاز× فایتوژنیک			۰/۶۷۱	۰/۵۵۷	۱/۰۰۰	۰/۷۱۶	۰/۸۳۶	۰/۴۲۰۱	۰/۲۰۵	۰/۵۹۱
سطح کلسیم و فسفر×فایتوژنیک			۰/۵۶۹	۰/۶۳۰۳	۰/۶۸۹	۰/۸۴۵	۰/۳۸۲	۰/۱۷۹	۰/۷۶۷	۰/۶۹۷

SRBC: مجموع آنتی‌آبادی‌های تولیدشده علیه تزریق گلبول قرمز شسته‌شده گوسفند. :IgM ایمونوگلوبولین M، IgG: ایمونوگلوبولین G، ND1: تیتر اولیه نیوکاسل؛ ND2: تیتر ثانویه نیوکاسل.

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

جدول ۱۱. اثر مقدار فیتاز، سطح کلسیم و فسفر و افزودن مکمل فایتوژنیکی بر ایمنی خونی جوجه‌های گوشت (log_2)

	۲۸ روزگی			۳۱ روزگی	٤١ روزگی		
اثرات اصلی	**Total SRBC**	**IgM**	**IgG**	**ND1**	**Total SRBC**	**IgM**	**IgG**	**ND2**
فیتاز (واحد بر کیلوگرم)								
صفر	^{b}۴/۳	۲/۹	^{b}۱/۴	^{b}۴/۱	^{b}۶/۱	۲/۱	^{b}۴/۰	^{b}۴/۸
۵۰۰	^{a}۵/۱	۳/۳	^{ab}۱/۸	^{a}۴/۹	^{ab}۷/۰	۱/۹	^{a}۵/۱	^{a}۶/۲
۲۰۰۰	^{a}۵/۴	۳/۶	^{a}۱/۹	^{a}۵/۶	^{a}۷/۶	۱/۸	^{a}۵/۸	^{a}۶/۸
SEM	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۳۳
کلسیم و فسفر								
عادی	۴/۸	۳/۲	۱/۶	۴/۷	۶/۸	۲/۰	۴/۸	۵/۸
کاهش‌یافته	۵/۰	۳/۳	۱/۷	۵/۱	۷/۰	۱/۹	۵/۱	۶/۰
SEM	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۰۹۶	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۲۷
فایتوژنیک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)								
صفر	۴/۷	۳/۱	۱/۶	۴/۷	۶/۹	۱/۸	۴/۸	^{b}۵/۵
۲۰۰	۵/۲	۳/۵	۱/۷	۵/۰	۷/۲	۲/۱	۵/۱	^{a}۶/۳
SEM	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۰۹۶	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۲۷
P value								
فیتاز	۰/۰۲۰۶	۰/۰۶۴۵	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۷۱	۰/۰۱۴۳	۰/۴۵۷	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۵
کلسیم و فسفر	۰/۵۱۲	۰/۵۵۷	۰/۵۴۴	۰/۳۶۸	۰/۵۳۶	۰/۴۴۴	۰/۳۰۱	۰/۵۲۳
فایتوژنیک	۰/۱۵۴	۰/۰۸۴۱	۰/۵۴۴	۰/۱۶۱	۰/۱۵۳	۰/۰۷۹۱	۰/۴۲۰۱	۰/۰۴۶۶

a-b: میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشند.

SRBC: مجموع آنتی‌آبادی‌های تولیدشده علیه تزریق گلبول قرمز شسته‌شده گوسفند. IgM: ایمونوگلوبولین M، IgG: ایمونوگلوبولین G، ND1: تیتر اولیه نیوکاسل؛ ND2: تیتر ثانویه نیوکاسل.

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

در سن ۲۸ روزگی، افزودن مکمل فایتوژنیکی سبب تمایل به افزایش در مقدار ایمونوگلوبولین M شد. در سن ۴۱ روزگی، مکمل فایتوژنیکی سبب افزایش معنی‌دار عیار آنتی‌بادی علیه واکسن نیوکاسل ($P<۰/۰۵$) و تمایل به افزایش در مقدار ایمونوگلوبولین M شد. پژوهش‌گران دیگری (Liu *et al*., 2023) نشان دادند که ترکیبی از مواد گیاهی دارویی سبب بهبود ایمنی جوجه‌های مرغ‌های مادر شده و ارتباط مثبتی را بین جمعیت لاکتوباسیلوس‌های روده با مقدار ایمونوگلوبولین M، ریخت‌شناسی روده و شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی به‌دست آوردند.

اثر ترکیبات گیاهی بر بهبود تیتر نیوکاسل درسن ۴۱ روزگی را می‌توان به خواص آنتی‌اکسیدانی و محرک ایمنی ترکیبات مورداستفاده در مکمل فایتوژنیکی نسبت داد. پژوهش‌گران گزارش دادند که برخی گیاهان با ترکیبات خاص موجود خود ممکن است به‌عنوان آنتی‌اکسیدان، با اعمال فعالیت مهارکنندگی سوپراکسید یا با افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در نواحی مختلف بافت و هم‌چنین حفظ تمامیت ساختاری در سلول‌های ایمنی عمل کنند. علاوه بر این، گیاهانی که غنی از فلاونوئیدها مانند تیمول،کارواکرول و منتول هستند، فعالیت ویتامین E را افزایش‌داده، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل نموده، و ممکن است عملکرد ایمنی را افزایش (Hesabi Nameghi *et al*., 2019).

۴. نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش، در جیره‌های با کلسیم و فسفر کاهش یافته، استفاده از سطوح بالای فیتاز در ترکیب با مکمل فایتوژنیکی منجر به افزایش وزن نهایی و ارتقای قابلیت هضم فسفر گردید. هم‌چنین افزودن سطوح بالای فیتاز

(FTU۲۰۰۰) به جیره‌های با حاوی کلسیم و فسفر کاهش یافته، تأثیر بیش‌تری بر قابلیت هضم کلسیم و فسفر نسبت به جیره‌های باسطوح کلسیم و فسفر عادی داشت. نکته با اهمیت دیگر در مورداستفاده از مقادیر بالای فیتاز، تأثیر آن در ارتقای ایمنی علیه نیوکاسل و تزریق گلبول‌های قرمز خون گوسفند بود. استنتاج نهایی این است که سطوح بالای فیتاز در ترکیب با مکمل فایتوژنیک در جیره‌های با کلسیم و فسفر کاهش یافته جهت بهبود هضم و جذب مواد معدنی، افزایش وزن نهایی و ارتقای ایمنی جوجه گوشتی تأثیر مثبت داشته و استفاده از آن توصیه می‌شود.

۵. تشکر و قدردانی

از شرکت البرز گستر دارو و شرکت نوین آکام جهت تامین مکمل‌ها و همکاری در تهیه امکانات مورد نیاز انجام پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

AOAC. (2012). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.

Baradaran N., Shahir M.H., & Kermani, Z.A. (2017). Subsequent bone and metabolic responses of broilers to high-non-phytate phosphorus diets in the starter period. *British Poultry Science*, 58, 435-441.

Cengiz, S S., Yesilbag, D., Eren, M., Cetin, I., Meral., & Biricik, Y. H. (2016). Effects of volatile oil additives on growth, carcass performances, and calcium and phosphorus concentrations in serum and bone of broilers. *Revue de Medecine Veterinaire*, 167, 7-8.

Dersjant-Li, Y, Awati, A, Schulze, H., & Partridge, G. (2015). Phytase in non-ruminant animal nutrition: a critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(5):878-96.

Farhadi, D., Karimi, A., Sadeghi, G., Rostamzadeh, J., & Bedford, M.R. (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, 3664-3675.

Ghasemi, H.A., Fakharzadeh, S., Hafizi, M., Nemati, M., Kalanaky, S., & Nazaran, M.H. (2023). Growth performance, nutrient digestibility, bone mineralization, gut morphology, and antioxidant status in meat-type turkeys receiving diets supplemented with advanced chelate compounds-based minerals. *Journal of Applied Poultry Research*, 32, 2,100348.

Gholami-Ahangaran, M., Ahmadi-Dastgerdi, A., Azizi, S., Basiratpour, A., Zokaei, M., & Derakhshan, M. (2022). Thymol and carvacrol supplementation in poultry health and performance. *Veterinary Medicine and Science*, 8, 267-288.

Hafeez, A., Männer, K., Schieder, C., & Zentek, J. (2016). Effect of supplementation of phytogenic feed additives (powdered vs. encapsulated) on performance and nutrient digestibility in broiler chickens. *Poultry Science*, 95, 622-629.

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*, 00, 1-11.

Khodambashi Emami, N., Zafari Naeini, S., & Ruiz-Feria, C. A. (2013). Growth performance, digestibility, immune response and intestinal morphology of male broilers fed phosphorus deficient diets supplemented with microbial phytase and organic acids. *Livestock Science*, 157, 506-513.

Kiani, A., & Taheri, HR. (2020). Effect of constant 2: 1 calcium to non-phytate phosphorus ratio over a range of concentrations during starter-grower and finisher phases on performance of broiler chicken. *Animal Feed Science and Technology*, 264, 114473.

Kriseldi, R., Johnson, J.A., Walk, C.L., Bedford, M.R., & Dozier WA. (2021). Influence of exogenous phytase supplementation on phytate degradation, plasma inositol, alkaline phosphatase, and glucose concentrations of broilers at 28 days of age. *Poultry Science*, 100(1), 224-234.

Liu, M., Chen, R., Wang, T., Ding, Y., Zhang, Y., Huang, G., Huang, J., Qu, Q., Lv, W., & Guo, S. (2023). Dietary Chinese herbal mixture supplementation improves production performance by regulating reproductive hormones, antioxidant capacity, immunity and intestinal health of broiler breeders. *Poultry Science*, 103(1), 103201.

Manobhavan, M., Elangovan, A. V., Sridhar, M., Shet, D., Ajith, S., Pal, D. T., & Gowda, N. K. S. (2016). Effect of super dosing of phytase on growth performance, ileal digestibility and bone characteristics in broilers fed corn-soya-based diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(1), 93-100.

Mountzouris, K.C., Paraskevasa, V., Tsirtsikosa, P., Palamidia, I., Steinerb, T., Schatzmayrc, G., & Fegeros, K. (2011). Assessment of a phytogenic feed additive effect on broiler growth performance, nutrient digestibility and caecal microflora composition. *Animal Feed Science and Technology*, 168, 223-231.

Osunbami, O.T., Walk, C.L., & Adeola, O. (2024). Digestible calcium equivalency of phytase and nutrient utilization of broiler chickens fed graded levels of limestone or phytase during the starter phase, *Poultry Science*, 103, 2, 103360.

Pirgozliev, V.R., Mansbridge, S.C., Whiting, I.M., Kljak, K., Jozwik, A., Rollinger, J.M., Atanasov, A.G., & Rose, S.P. (2023). Feeding Black Pepper (*Piper nigrum*) or Exogenous Xylanase Improves the Blood Lipid Profile of Broiler Chickens Fed Wheat-Based Diets. *Veterinary Science*, 10, 587.

Rousseau, X., Valable, A.-S., Létourneau-Montminy, M.-P., Même, N., Godet, E., Magnin, M., Nys, Y., Duclos, M. J., & Narcy, A. (2016). Adaptive response of broilers to dietary phosphorus and calcium restrictions. *Poultry Science*, 95(12), 2849-2860.

Sens, R F., Bassi, L S., Almeida, L M., Rosso, D F., Teixeira, L V., & Maiorka, A. (2021). Effect of different doses of phytase and protein content of soybean meal on growth performance, nutrient digestibility, and bone characteristics of broilers. *Poultry Science*, 100, 3, 100917.

Su, G., Wang, L., Zhou, X., Wu, X., Chen, D., Yu, B., ing Yu, Huang, Z., Luo, Y., Mao, X., Zheng, P., Yu, J., Luo, J., & He, J. (2021). Effects of essential oil on growth performance, digestibility, immunity, and intestinal health in broilers. *Poultry Science*, 100(8), 101242.

Sommerfeld, V., Künzel, S., Schollenberger, M. I., & Kühn Rodehutscord. M. (2017). Influence of phytase or myo-inositol supplements on performance and phytate degradation products in the crop, ileum, and blood of broiler chickens. *Poultry Science*, 97(3), 920-929.

Walk, L., Aureli, R., & Jenn, P. (2024). Determination of the standardized ileal digestible calcium requirement of Ross broilers from hatch to day 14 post-hatch. *Animal Nutrition*, 16, 122-129.

Wang, T., Jendza, J. A., Ader, P., & Adeola, O. (2021). Evaluation of a novel hybrid 6-phytase using an updated phosphorus deficiency model in broiler chickens. *Canadian Journal of Animal Science*, 101, 263-273.

Yang, X., Long, F., Xin, H., Yang, C., & Yang, X. (2018). Impact of essential oils and organic acids on the growth performance, digestive functions and immunity of broiler chickens. *Animal Nutrition*, 4(4), 388-393.

Zarghi, H., Golian, A., Hassanabadi, A., & Khaligh, F. (2022). Effect of zinc and phytase supplementation on performance, immune response, digestibility and intestinal features in broilers fed a wheat-soybean meal diet, *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 430-444.