Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Research on Animal Production, Vol. 16, Issue 4, 2025 p: 86-103

OPEN ACCESS

Research Paper

The Effect of Heat Stress and Density per Unit Area on Performance, Immunological Response, Meat Quality, and Intestinal Morphology in Arian Broiler Chickens

Mohammad Sedghi[1], Razieh Ghasemi[2], Mojtaba Abbasi[2], Zahra Sarrami[2], and Ishmael Mohammadi[2]

1- Department of Animal Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, (Corresponding author: mo.sedghi@iut.ac.ir)
2- Department of Animal Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Received: 23 April, 2025 Revised: 01 August, 2025 Accepted: 05 September, 2025

Extended Abstract

Background: In the poultry industry, enhancing production efficiency, reducing production costs, and maximizing economic performance are fundamental objectives. However, these objectives can be achieved only when environmental, managerial, and nutritional factors are maintained at optimal levels. Any deviation from proper management practices results in environmental stress, which adversely affects the growth performance, health, and welfare of broiler chickens. Among undesirable environmental factors, high ambient temperature and excessive stocking density are recognized as major stressors, whose influence has recently received greater attention due to the global rise in temperature, and producers' common tendency to use higher densities to increase profitability. Heat stress is considered one of the most challenging issues in poultry production because birds lack efficient thermoregulatory mechanisms, such as sweat glands, and are therefore highly sensitive to thermal changes. Exposure to high temperatures disrupts heat-dissipation mechanisms, elevates body temperature, induces metabolic disturbances, reduces feed intake, suppresses growth, and weakens the immune response. On the other hand, high stocking density is widely practiced to increase meat production and economic efficiency, especially during the growth period. While greater density can elevate total meat yield, inadequate ventilation, limited space for movement, and non-uniform access to feed and water result in increased physiological stress, reduced welfare, and negative impacts on growth and health metrics. Furthermore, overcrowding hampers air exchange and restricts effective dissipation of body heat, thereby exacerbating the effects of heat stress. Considering the importance of the combined effects of ambient temperature and stocking density in industrial poultry production systems, investigating these two factors simultaneously appears essential. Furthermore, evaluating their impacts on various productive and physiological aspects, such as growth performance, blood biochemistry, immune function, meat quality, and intestinal morphology, can provide a more comprehensive scientific perspective for optimizing management strategies. Therefore, this study aimed to evaluate the interaction between heat stress and stocking density on productive performance, biochemical blood indices, immune responses, meat quality, and intestinal morphological parameters in Arian broiler chickens.

Methods: For this purpose, 868 one-day-old mixed sex Arian broiler chicks were allocated to a 2 × 2 factorial arrangement consisting of four treatments with seven replicates. Experimental groups included two stocking densities (14 and 17 birds per square meter from the beginning of the rearing period) and two temperature regimes (standard temperature and heat stress during the last 2 weeks of rearing). Productive parameters, including weight gain, feed intake, and feed conversion ratio, were recorded weekly. The weights of lymphoid organs (bursa of Fabricius, thymus, and spleen), liver, heart, breast, thighs, and abdominal fat were measured at the end of the trial. The thickness of the right and left ventricular walls was also evaluated. Blood samples were collected for hematological traits, biochemical parameters, and liver enzyme assessment. Immune response was assessed by measuring antibody titers against sheep red blood cells (SRBC) and the Newcastle disease virus. To assess intestinal morphology, jejunum samples were used to determine villus height and width, crypt depth, villus height-to-crypt depth ratio,

Copyright ©2025. Sedghi 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.

and muscular layer thickness. For meat quality evaluation, breast muscle samples were collected after slaughter and analyzed for pH, dry matter, crude fat, crude protein, color, and textural properties, including cooking loss and water-holding capacity. Data were analyzed using SAS software, and means were compared by Tukey's test at a significance level of $P < 0.05$.

Results: Productive parameters throughout the experimental period were influenced by the treatments, with daily weight gain significantly higher under standard temperature and normal density. Increased stocking density led to a significant elevation in feed conversion ratio, indicating reduced feed efficiency under dense rearing conditions. The weights of the bursa of Fabricius, thymus, and spleen were higher at standard temperature with both densities (14 and 17 birds), indicating better immune function in the absence of heat stress. Furthermore, elevated temperature affected the cardiac structure and increased the right ventricular diameter. Hematological findings showed that heat stress reduced lymphocyte count while increasing heterophil numbers. The primary antibody titer against SRBC decreased under heat stress treatments; moreover, both heat stress and increased stocking density elevated serum alanine transaminase and malondialdehyde concentrations. Meat quality assessment revealed that heat stress and high stocking density reduced meat quality. Evaluation of intestinal morphology demonstrated that structural indices, including villus height, crypt depth, muscular layer thickness, and absorptive surface area, increased in broilers raised under standard stocking density.

Conclusion: Overall, the findings of this study demonstrate that rearing broiler chickens under heat stress and high stocking density results in reduced growth performance, weakened immune system, elevated oxidative stress-related enzymes, decreased meat quality, and unfavorable changes in intestinal structure. Therefore, maintaining optimal ambient temperature and proper stocking density are essential requirements in commercial broiler production, playing a crucial role in promoting bird health, improving performance, and enhancing final product quality.

Keywords: Arian chicken, Density, Heat stress, Immune system, Performance

How to Cite This Article: Sedghi, M., Ghasemi, R., Abbasi, M., Sarrami, Z., & Mohammadi, I. (2025). The Effect of Heat Stress and Density per Unit Area on Performance, Immunological Response, Meat Quality, and Intestinal Morphology in Arian Broiler Chickens. *Res Anim Prod,* 16(4), 86-103. DOI: 10.61882/rap.2025.1419

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

اثر تنش گرمایی و تراکم در واحد سطح بر عملکرد، پاسخ ایمنی، کیفیت گوشت و مورفولوژی روده در جوجه‌های گوشتی نژاد آرین

محمد صدقی[1]، راضیه قاسمی[2]، مجتبی عباسی[2]، زهرا صرامی[2] و اسماعیل محمدی[2]

۱- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، (نویسنده مسوول: mo.sedghi@iut.ac.ir)
۲- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۳ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۴
صفحه ۸۶ تا ۱۰۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: در صنعت پرورش طیور، افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های تولید و دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی از اهداف اصلی و تعیین‌کننده به شمار می‌روند. با این‌حال، دستیابی به این اهداف تنها در شرایطی امکان‌پذیر است که عوامل محیطی، مدیریتی و تغذیه‌ای در حد مطلوب کنترل شوند. هرگونه بی‌توجهی به شرایط بهینه پرورش می‌تواند به بروز تنش‌های محیطی منجر شود که تأثیرات نامطلوبی بر عملکرد رشد، سلامت و رفاه جوجه‌های گوشتی برجای می‌گذارد. از میان عوامل نامطلوب محیطی، دمای بالای محیط و تراکم بیش از حد به عنوان مهم‌ترین عوامل تنش‌زا شناخته می‌شوند که اثرات آنها در سال‌های اخیر با افزایش میانگین دمای جهانی و گرایش رایج تولیدکنندگان به استفاده از تراکم‌های بالاتر، اهمیت بیشتری یافته است. تنش گرمایی یکی از چالش‌های جدی صنعت طیور محسوب می‌شود، زیرا پرندگان به‌دلیل ساختار فیزیولوژیک خاص خود از جمله فقدان غدد عرق، سیستم خنک‌سازی کارآمدی ندارند و به گرمای محیط بسیار حساس هستند. قرارگیری در معرض دماهای بالا، کارایی تبادل حرارت بدن را کاهش می‌دهد و به افزایش دمای داخلی بدن، اختلال در مکانیسم‌های متابولیکی، کاهش مصرف خوراک، افت رشد و کاهش ایمنی منجر می‌شود. از سوی دیگر، افزایش تراکم در سالن‌های پرورشی به‌طور گسترده با هدف افزایش تولید گوشت و بهره‌وری اقتصادی، به‌ویژه در دوره رشد، به کار گرفته می‌شود. اگرچه این اقدام باعث افزایش تعداد پرندگان و به تبع آن افزایش وزن گوشت تولیدی می‌گردد، اما در صورت عدم تأمین تهویه مناسب، فضای حرکتی کافی و دسترسی برابر به خوراک و آب، می‌تواند به افزایش تنش فیزیولوژیک، کاهش رفاه پرنده و تأثیرات منفی بر شاخص‌های سلامت و رشد منجر شود. تراکم بالا با کاهش فضای تنفسی و سطح تبادل هوا، موجب کاهش اتلاف گرمای بدن می‌شود و به‌تنهایی می‌تواند زمینه بروز تنش گرمایی را تشدید کند. با توجه به اهمیت اثرات متقابل دمای محیط و تراکم پرورش در سامانه‌های تولید صنعتی، بررسی این دو عامل به‌صورت هم‌زمان ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، ارزیابی اثر این عوامل بر جنبه‌های مختلف تولید مانند عملکرد رشد، فیزیولوژی خون، سیستم ایمنی، کیفیت گوشت و مورفولوژی روده می‌تواند دیدگاه علمی جامع‌تری را برای مدیریت بهینه پرورش ارائه نماید. از این رو، هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر متقابل تنش گرمایی و تراکم پرورش بر عملکرد تولیدی، فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون، پاسخ ایمنی، کیفیت گوشت و شاخص‌های مورفولوژیکی روده در جوجه‌های گوشتی نژاد آرین بود.

مواد و روش‌ها: به این منظور، ۸۶۸ قطعه جوجه گوشتی یک روزه نژاد آرین به‌صورت مخلوطی از جنس نر و ماده و در قالب طرح فاکتوریل ۲×۲ با چهار تیمار و هفت تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. گروه‌های آزمایشی شامل دو سطح تراکم (۱۴ و ۱۷ قطعه در هر متر مربع از ابتدای دوره پرورش) و دو سطح دما (استاندارد و تنش گرمایی در دو هفته پایانی پرورش) بودند. پارامترهای عملکردی از جمله افزایش وزن، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خواک به صورت هفتگی اندازه‌گیری و ثبت شدند. در پایان دوره آزمایشی، وزن اندام‌های لنفاوی (بورس‌فابریسیوس، تیموس و طحال)، کبد، قلب، سینه، ران‌ها و چربی محوطه بطنی اندازه‌گیری شد. ضخامت دیواره‌ی بطن راست و چپ قلب نیز مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های خون به‌منظور بررسی فراسنجه‌های هماتولوژی خون، فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون و آنزیم‌های کبدی جمع‌آوری گردیدند. پاسخ ایمنی با اندازه‌گیری تیتر تولیدی آنتی‌بادی علیه گلبول قرمز گوسفندی (SRBC) و تیتر تولید آنتی‌بادی علیه ویروس نیوکاسل مورد سنجش قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی ساختار فیزیکی روده، از بخش ژژنوم نمونه‌برداری و شاخص‌های مورفولوژیکی شامل ارتفاع و عرض پرز، عمق کریپ، نسبت طول پرز به عمق کریپت و ضخامت لایه ماهیچه‌ای اندازه‌گیری شدند. برای سنجش کیفیت گوشت، نمونه عضله سینه پس از کشتار جمع‌آوری و pH، ماده خشک، چربی، پروتئین خام، رنگ و خصوصیات بافتی از جمله افت پخت و ظرفیت نگهداری آب مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS مورد آنالیز قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح احتمال کمتر از ۰/۰۵ صورت پذیرفت.

یافته‌ها: فراسنجه‌های عملکردی در کل دوره تحت تاثیر تیمارها قرار گرفتند به طوری‌که با توجه به اثرات اصلی، افزایش وزن روزانه در دما و تراکم استاندارد به‌طور محسوسی بهبود یافت. افزایش تراکم موجب افزایش معنادار ضریب‌تبدیل خوراک شد که نشان‌دهنده کاهش کارایی مصرف خوراک در این شرایط بود. وزن‌های بورس فابریسیوس، تیموس و طحال در دمای استاندارد با هر دو تراکم ۱۴ و ۱۷ نسبت به تیمارهای دیگر بالاتر بودند که نشان‌دهنده عملکرد بهتر سیستم ایمنی در شرایط فاقد تنش گرمایی است. علاوه بر این، افزایش دما بر ساختار قلب اثرگذار بود و موجب تغییر قطر بطن راست شد. نتایج خون‌شناسی نشان دادند که در شرایط تنش گرمایی، تعداد لنفوسیت‌ها کاهش و تعداد هتروفیل‌ها افزایش یافتند. تیتر تولید آنتی‌بادی علیه گلبول قرمز گوسفندی در پاسخ اولیه در تیمارهای تحت تنش گرمایی کاهش یافت. همچنین، اثرات اصلی تنش گرمایی و افزایش تراکم سبب افزایش سطح آلانین‌ترانسفراز و مالون‌دی‌آلدهید سرم خون شدند. بررسی کیفیت گوشت نشان داد که تنش گرمایی و تراکم بالا کیفیت گوشت را کاهش دادند. بررسی وضعیت روده نشان داد که شاخص‌های ساختاری مانند ارتفاع پرز، عمق کریپت، ضخامت لایه ماهیچه‌ای و مساحت جذب روده در جوجه‌های پرورش یافته تحت تراکم استاندارد افزایش یافتند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که پرورش جوجه‌های گوشتی در شرایط تنش گرمایی و تراکم بالا، سبب کاهش عملکرد رشد، تضعیف سیستم ایمنی، افزایش سطح آنزیم‌های مربوط به استرس اکسیداتیو، کاهش کیفیت گوشت و ایجاد تغییرات نامطلوب در ساختار روده می‌شود. بنا بر این، می‌توان نتیجه گرفت که کنترل دما و رعایت تراکم مناسب از الزامات اصلی در پرورش صنعتی جوجه‌های گوشتی هستند و می‌توانند نقش مؤثری در حفظ سلامت، بهبود عملکرد و افزایش کیفیت نهایی محصول داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: تنش گرمایی، تراکم، عملکرد، سیستم ایمنی، جوجه آرین

مقدمه

در پرورش صنعتی طیور، در صورت رعایت نکردن شرایط بهینه برای پرورش، ممکن است پرنده‌ها تحت شرایط تنش‌آور، مانند دمای محیط بالا، تراکم پرورش بالا، چالش‌های بیماری، بهداشت کم و مدیریت نامناسب، پرورش یابند که عملکرد تولیدی، وضعیت سلامت و رفاه حیوانات را تهدید می‌کنند. بنا بر این، محققان تلاش‌های زیادی برای بهبود پاسخ‌های تنش حیوانات انجام داده‌اند. با این‌حال، به‌دلیل اطلاعات محدود در مورد مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر پاسخ‌های تنش در حیواناتی که در معرض عوامل تنش‌آور مختلف قرار دارند، استراتژی‌های امیدوارکننده کمی توسعه یافته‌اند (Goo *et al*., 2019a).

تنش به‌عنوان یک پاسخ بیولوژیکی تعریف شده است و زمانی ایجاد می‌شود که حیوان تهدیدی برای هموستاز فیزیولوژیکی طبیعی خود احساس کند (Alagawany *et al*., 2017). علاوه بر این، ممکن است به‌عنوان هر موقعیتی تعریف شود که مکانیسم تنش بیولوژیکی یک حیوان را افزایش دهد (Moberg & Mench, 2000). تنش فیزیولوژیکی ناشی از شرایط آب و هوایی نامطلوب ممکن است عواقب شدیدی بر عملکرد تولیدی یا تولیدمثلی، وضعیت سلامتی و پاسخ‌های ایمنی پرندگان داشته باشد (Aarif & Mahapatra, 2013; Alagawany *et al*., 2017; El-Hack *et al*., 2018).

از آنجایی‌که دمای محیط به‌طور پیوسته در سراسر جهان در حال افزایش است، تنش گرمایی یکی از چالش‌های اصلی صنعت دام و طیور در بسیاری از کشورها در نظر گرفته می‌شود. در میان دام‌ها، طیور آسیب‌پذیرترین حیوان نسبت به تنش گرمایی هستند، زیرا طیور به‌دلیل پوشش پر و عدم حضور غدد عرق، توانایی دفع گرمای بدن را ندارند (Zhang *et al*., 2017). بنا بر این، طیوری که در معرض تنش گرمایی قرار می‌گیرند، اغلب اختلالات فیزیولوژیکی مختلفی مانند اختلال سیستم ایمنی، اختلالات غدد درون‌ریز، آلکالوز تنفسی و عدم تعادل الکترولیت (Teeter *et al*., 1985; Sohail *et al*., 2010; Lara & Rostagno, 2013) را تجربه می‌کنند که سبب کاهش سلامت و عملکرد طیور می‌شوند. علاوه بر این، یکی از چالش‌های فیزیولوژیکی مرتبط با این پیامدهای نامطلوب، اختلال در عملکرد روده است (Lambert, 2009; Shin *et al*., 2018). دانشمندانی پیشنهاد می‌کنند که تنش گرمایی جریان خون را از دستگاه گوارش به‌سمت پوست منحرف می‌کند که به سد اتصال محکم مخاطی در دستگاه گوارش آسیب می‌رساند (Lambert, 2009).

تراکم گله نیز می‌تواند یک عامل تنش‌آور در پرورش طیور باشد زیرا تراکم بالا رابطه‌ی معکوس با سلامت و رفاه طیور و عملکرد گله دارد (Puron *et al*., 1995; Estevez, 2007). دلایل احتمالی این مشکلات با کاهش دسترسی به خوراک و آب، رفتار غیرعادی، کیفیت پایین هوا و بستر مرتبط هستند (Bessei, 2006; Estevez, 2007). علاوه بر این، تراکم بالا می‌تواند با افزایش دما در ریزمحیط‌های اطراف جوجه‌ها و کاهش دفع گرما از بدن، یک وضعیت تنش گرمایی خفیف ایجاد کند (Bessei, 2006; Cengiz *et al*., 2015). بنا بر این، تراکم بالا ممکن است پاسخ‌های پاتولوژیک مشابه پاسخ‌های تنش گرمایی را القا کند. به‌همین ترتیب، تراکم بالا عملکرد جوجه‌های گوشتی را کاهش می‌دهد و این اثر منفی با اختلال در عملکرد روده مرتبط است (Goo *et al*., 2019a). بنا بر این، می‌توان انتظار داشت که پیامدهای منفی تراکم بالا زمانی که طیور در معرض تنش گرمایی قرار می‌گیرند تشدید شوند. محققین گزارش کردند که هورمون‌های تنش خون (کورتیکوسترون، اوو ترانسفرین و آلفا۱-اسیدگلیکوپروتئین) در جوجه‌های گوشتی پرورش‌یافته در تراکم بالا افزایش می‌یابند و این پاسخ‌ها به تنش تراکم بالا برای پرندگانی که در معرض تنش گرمایی قرار داشتند قابل توجه‌تر بود (Najafi *et al*., 2015). با این‌حال، اطلاعات محدودی در مورد اثر متقابل تنش گرمایی و تراکم بر جوجه‌های گوشتی سویه آرین وجود دارد. لذا، پژوهش‌حاضر با هدف بررسی اثر متقابل تنش گرمایی و تراکم بر عملکرد، پاسخ‌های سیستم ایمنی، کیفیت گوشت و مورفولوژی دستگاه گوارش جوجه‌های گوشتی سویه آرین طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

پرنده‌ها و تیمارهای آزمایشی

به‌منظور انجام این آزمایش، تعداد ۸۶۸ قطعه جوجه گوشتی یک‌روزه سویه آرین در قالب آزمایش فاکتوریل ۲×۲ با چهار تیمار و هفت تکرار در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان استفاده شد. داده‌های حاصل از آزمایش در دو سطح تراکم ۱۴ و ۱۷ قطعه در هر مترمربع (۲۸ و ۳۴ قطعه جوجه در هر پن با ابعاد ۱/۳۰×۱/۵۰متر) و دو سطح دمای استاندارد و تنش گرمایی آنالیز آماری شدند. با توجه به این‌که اثر متقابل تراکم و تنش گرمایی بعد از مرحله رشد نمایان می‌شود، لذا تراکم در کل دوره پرورش و تنش گرمایی در دو هفته پایانی اعمال شدند. جهت تنظیم دمای سالن پرورش، ابتدا سالن توسط یک دیوار کاذب و عایق به دو قسمت تقسیم شد و سپس در یکی از بخش‌ها برای ایجاد تنش گرمایی از جت هیتر، گرمایش از کف و کانال هوای گرم به شکل ترکیبی استفاده شد. در این بخش، دما به‌طور ۲۴ ساعته بین ۳۲ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد حفظ شد. در قسمت دیگر سالن و در تیمارهای پرورش‌یافته تحت دمای استاندارد (۱۹ تا ۲۲ درجه‌ی سانتی‌گراد)، برای تامین دما تنها از گرمایش از کف و هیتر کابینتی استفاده شد و دما در این تیمارها دقیقا مطابق کاتالوگ تنظیم شد. برنامه‌های روشنایی و مدیریت سالن مطابق با توصیه‌های کاتالوگ جوجهٔ گوشتی آرین انجام شد. جیره‌های استاندارد نیز بر پایه ذرت و کنجاله سویا مطابق با کاتالوگ سویه آرین تنظیم شدند (جدول ۱). در طول دورهٔ پرورش، آب و غذا به‌صورت آزاد در دسترس جوجه‌ها قرارگرفتند.

جدول ۱- مواد تشکیل‌دهنده و اجزای شیمیایی جیره‌های آزمایشی

Table 1. Ingredients and compositions of the experimental diets

اجزای جیره (درصد) Ingredients (%)	۱-۱۴ روزگی 1-14 days	۱۵-۲۴ روزگی 15-24 days	۲۵-۳۵ روزگی 25-35 days	۳۶-۴۲ روزگی 36-42 days
ذرت Corn	56.15	61.47	67.19	69.98
کنجاله سویا Soybean meal	36.53	31.17	27.86	25.50
روغن سویا Soybean oil	0.74	1.03	1.01	0.58
سبوس گندم Wheat bran	2.00	2.00	0.00	0.00
نمک Salt	0.25	0.18	0.19	0.19
جوش شیرین Sodium bicarbonate	0.16	0.27	0.26	0.26
دی‌کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	2.19	2.02	1.81	1.84
کربنات کلسیم Calcium carbonate	0.99	0.88	0.79	0.79
مکمل ویتامینی[1] Vitamin premix[1]	0.12	0.12	0.12	0.12
مکمل معدنی[2] Mineral premix[2]	0.12	0.12	0.12	0.12
ال - لیزین هیدروکلراید L-Lysine HCl	0.25	0.26	0.24	0.23
دی ال-متیونین DL-Methionine	0.31	0.28	0.25	0.23
ال-ترئونین L-Threonine	0.09	0.10	0.08	0.08
کولین کلراید Coline chloride	0.10	0.10	0.08	0.08
مواد مغذی جیره Nutrient composition				
انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری/کیلوگرم) Metabolizable energy (Kcal/kg)	2870	2950	3025	3025
پروتئین خام (٪) Crude protein (%)	22.23	20.21	18.80	17.95
لیزین قابل هضم (٪) Dig. Lysine (%)	1.18	1.07	0.98	0.93
متیونین+سیستئین قابل هضم (٪) Dig. Methionine+cysteine (%)	0.88	0.81	0.75	0.72
ترئونین قابل هضم (٪) Dig. Threonine (%)	0.78	0.72	0.66	0.63
والیت قابل هضم (٪) Dig. Valine (%)	0.90	0.82	0.76	0.73
ایزولوسین قابل هضم (٪) Dig. Isoleucine (%)	0.82	0.74	0.68	0.65
لوسین قابل هضم (٪) Dig. Leucine (%)	1.60	1.49	1.42	1.38
تریپتوفان قابل هضم (٪) Dig. Tryptophan (%)	0.22	0.20	0.18	0.17
آرژنین قابل هضم (٪) Dig. Arginine (%)	1.29	1.15	1.06	1.00
کلسیم (٪) Calcium (%)	0.96	0.87	0.78	0.78
فسفر قابل دسترس (٪) Available phosphorous (%)	0.48	0.44	0.39	0.39

[1] استفاده از مکمل ویتامینه باعث تامین مقادیر زیر در هر کیلوگرم خوراک نهایی شد: ۱۲۰۰۰ IU ویتامین A، ۵۰۰۰IU ویتامین D_3، ۸۰ IU ویتامین E، ۳/۲ mg ویتامین K_3، ۳/۲ mg تیامین، ۸/۶ mg ریبوفلاوین، ۶۵ mg نیاسین، ۲۰ mg پانتوتنیک اسید، ۴/۳ mg پیرودوکسین، ۲/۲ mg اسید فولیک، ۰/۰۱۷ mg کوبالامین و ۰/۲۲ mg بیوتین،بود. [2] استفاده از مکمل معدنی باعث تامین مقادیر زیر در هر کیلوگرم خوراک نهایی شد: ۱۲۰ mg منگنز، ۱۱۰ mg روی، ۲۰ mg آهن، ۱۶ mg مس، ۱/۲۵ mg ید و ۰/۳ mg سلنیوم می‌باشد.

[1]The vitamin premix supplied the following per kilogram of feed: vitamin A: 12000 IU; vitamin D3: 5000 IU; vitamin E: 80 IU; vitamin K3: 3.2 mg; vitamin B1: 3.2 mg; vitamin B2: 8.6 mg; Niacin: 65 mg; Pantothenic acid: 20 mg; Pyridoxine: 4.3 mg; Folic acid: 2.2 mg; Cobalamin: 0.017 mg; Biotin: 0.22 mg.

[2]The Mineral premix supplied the following per kilogram of feed: Mn: 120 mg; Fe: 20 mg; Zn: 110 mg; Se: 0.3 mg; Cu: 16 mg; Iodine: 1.25 mg.

جمع‌آوری داده‌ها و نمونه‌گیری

میانگین افزایش وزن روزانه (DWG)[1] و میانگین مصرف خوراک روزانه (DFI)[2] به‌صورت هفتگی در کل دوره‌ی پرورش محاسبه شدند. ضریب‌تبدیل خوراک (FCR)[3] بر اساس نسبت DFI به DWG در طول هر دوره‌ی آزمایشی برای هرتیمار به‌صورت جداگانه به‌دست آمد. در پایان آزمایش، یک پرنده از هر تکرار با وزن بدن نزدیک به میانگین وزن بدن هر تکرار به‌طور تصادفی انتخاب و کشتار شد. وزن‌های

[1] Average daily weight gain

[2] Average daily feed intake

[3] Feed conversion ratio

اندام‌های لنفاوی (بورس‌فابریسیوس، تیموس و طحال)، کبد و قلب ثبت و به‌صورت درصدی از وزن بدن زنده محاسبه و گزارش شدند. همچنین، اوزان نسبی سینه، ران‌ها و چربی محوطه بطنی به‌صورت مجزا نسبت به وزن زنده محاسبه شدند. قطر دیواره‌ی بطن راست و چپ قلب (به‌منظور بررسی آسیت) به‌وسیله کولیس دیجیتال (Digital Caliper) با دقت ۰۱۵۰- میلی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد.

به‌منظور بررسی فراسنجه‌های هماتولوژی خون (هماتوکریت و شمارش گلبول‌های سفید)، در سن ۳۵ روزگی از دو پرنده از هر تکرار خون‌گیری شد و پس از اندازه‌گیری اسیدیته خون به‌وسیله pHمتر مدل تستو ۲۰۵، نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال یافتند. همچنین، برای اندازه‌گیری فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون (پروتئین کل، آلبومین، گلوبولین، گلوکز، شاخص آنتی‌اکسیدان کل، مالون دی‌آلدهید) و آنزیم‌های کبدی (آسپارتات آمینو ترانسفراز (AST)[1]، آلانین‌آمینوترانسفراز (ALT)[2] و گاما گلوتامیل ترانسفراز (GGT)[3] از دو پرنده در هر تکرار خونگیری و پس از سانتریفیوژ، سرم آن‌ها جداسازی و تا زمان آزمایش در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس، فراسنجه‌های مورد نظر توسط کیت تجاری پارس آزمون و دستگاه اتوآنالیزر (Alcyon, American) اندازه‌گیری شدند (Gupta *et al*., 2005).

برای ارزیابی پتانسیل تولید آنتی‌بادی کل، IgG و IgA علیه گلبول قرمز گوسفندی (SRBC)، سوسپانسیون ۵٪ SRBC تهیه و در سن ۲۱ و ۲۸ روزگی به دو پرنده از هر تکرار به‌صورت وریدی و به رگ زیر بال پرنده تزریق شد. نمونه‌های سرم خون در ۷ و ۱۴ روز بعد از اولین تزریق جمع‌آوری و تا زمان آزمایش در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد ذخیره شدند. تیتر آنتی‌بادی علیه گلبول قرمز گوسفندی به‌روش سنجش هماگلوتیناسیون اندازه‌گیری شد (Sedghi *et al*., 2021; Sarrami *et al*., 2022). به‌منظور بررسی تیتر تولیدی آنتی‌بادی علیه ویروس نیوکاسل، جوجه‌ها در سن ۲۸ روزگی علیه ویروس نیوکاسل با واکسن آشامیدنی واکسینه شدند. سپس در ۳۵ روزگی از سن جوجه‌ها، نمونه‌های سرم خون از دو پرنده از هر تکرار جمع‌آوری و تا زمان آزمایش در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. اندازه‌گیری تست نیوکاسل بر اساس تست سرولوژیک HI (آزمایش ممانعت از هماگلوتیناسیون) انجام شد (Akhlaghi *et al*., 2013).

برای بررسی تغییرات مورفولوژی روده، در پایان دوره آزمایشی (۴۲ روزگی) یک پرنده از هر تکرار کشتار و حدود یک سانتی‌متر از قسمت میانی ژژنوم در فرمالین ۱۰ درصد نگهداری شد. مراحل آماده‌سازی جهت برش و رنگ‌آمیزی مطابق روش اکیم و همکاران (Ekim *et al*., 2020) انجام شدند. سپس، ارتفاع پرز (VH)، عرض پرز (VW)، عمق کریپت (CD)، نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت (VH: CD) و ضخامت لایه ماهیچه (MT) نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری (Olympus CX31, Tokyo) اندازه‌گیری شدند.

به‌منظور بررسی اثر تیمارها بر فراسنجه‌های کیفیت گوشت، در انتهای دوره‌ی آزمایشی از هر تکرار یک قطعه پرنده به‌طور تصادفی انتخاب و کشتار شد. سپس، در زمان‌های ۱، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از کشتار، pH قسمت مشخصی از گوشت (بخش ابتدایی عضله‌ی سینه) اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین در روز کشتار، برای بررسی آیتم‌های TPA (آنالیز پروفایل بافت)، افت پخت و ظرفیت نگهداری آب، نمونه گوشت سینه بر روی یخ به آزمایشگاه انتقال یافت و ۲۴ ساعت پس از کشتار فاکتورها بررسی شدند (Saracila *et al*., 2021). همچنین، درصدهای ماده‌خشک (ISO 6496/2001)، پروتئین (ISO 5983-2/2009) و چربی گوشت (SR ISO 6492/2001) به‌روش AOAC 2004 اندازه‌گیری شدند.

آنالیز داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده از تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 در قالب طرح فاکتوریل ۲×۲ انجام شد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی با استفاده از آزمون توکی در سطح معنی‌داری $P < 0.05$ انجام شد.

نتایج و بحث

فراسنجه‌های عملکردی

عملکرد ۴ هفته ابتدایی (۰-۲۸ روزگی): نتایج مربوط به عملکرد در چهار هفته ابتدایی (۰-۲۸ روزگی) در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

هفته اول (۰-۷ روزگی): همان گونه که نتایج نشان می‌دهند، تراکم در هفته اول پرورش تاثیری بر روی فراسنجه‌های عملکردی نداشت که احتمالا می‌تواند به‌دلیل تحرک کافی پرنده‌ها با توجه به کوچک بودن جثه آن‌ها و دسترسی مناسب به آبخوری و دانخوری باشد. بنا بر این، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تراکم در سنین ابتدایی محدودکننده‌ی رشد نیست.

هفته دوم (۸-۱۴ روزگی): در هفته دوم آزمایش، افزایش وزن روزانه و ضریب‌تبدیل خوراک تحت تاثیر سطح تراکم قرار گرفت به‌طوری‌که افزایش وزن روزانه در پرندگان با تراکم ۱۴ بالاتر و ضریب‌تبدیل خوراک در این پرندگان کمتر از پرندگان با تراکم ۱۷ بود ($P < 0.05$)؛ اگرچه مصرف خوراک در این دوره تحت تاثیر تراکم قرار نگرفت.

هفته سوم (۱۵-۲۱روزگی): همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهند، هیچ یک از فراسنجه‌های عملکردی در ۳ هفتگی تحت تاثیر سطح تراکم قرار نگرفتند.

هفته چهارم (۲۲-۲۸ روزگی): نتایج نشان می‌دهند که افزایش وزن روزانه و ضریب‌تبدیل خوراک تحت تاثیر سطح تراکم گله قرار گرفتند ($P < 0.01$)، به‌طوری‌که جوجه‌های پرورش‌یافته با تراکم ۱۴ عدد در هر متر مربع دارای افزایش وزن بیشتر و ضریب‌تبدیل خوراک کمتری نسبت به پرندگان پرورش‌یافته با تراکم ۱۷ بودند.

[1] Aspartate aminotransferase
[2] Alanine transaminase
[3] Gamma-glutamyl transferase

جدول ۲- تاثیر سطح تراکم بر عملکرد جوجه‌های گوشتی سویه آرین در طی ۴ هفته‌ی ابتدایی آزمایش

Table 2. The effect of density on the performance of Arian broiler chickens during the first 4 weeks of the experiment

سطح تراکم Density level	هفته اول Week 1			هفته دوم Week 2			هفته سوم Week 3			هفته چهارم Week 4		
	DWG[1] (g)	DFI[2] (g)	FCR[3]	DWG (g)	DFI (g)	FCR	DWG (g)	DFI (g)	FCR	DWG (g)	DFI (g)	FCR
Density 14 تراکم ۱۴	15.86	18.49	1.17	28.50[a]	41.97	1.47[b]	36.82	66.21	1.80	67.43[a]	114.94	1.71[b]
Density 17 تراکم ۱۷	16.10	18.48	1.15	27.93[b]	42.33	1.52[a]	36.98	66.48	1.80	64.72[b]	113.99	1.77[a]
P-value	0.062	0.926	0.079	0.013	0.236	0.001	0.641	0.585	0.969	0.0001	0.184	0.0002
SEM	0.081	0.093	0.005	0.158	0.211	0.008	0.240	0.348	0.011	0.43	0.500	0.010

[1] Daily Weight Gain
[2] Daily Feed Intake
[3] Feed conversion ratio
[abc] Means with different superscript letters in each effect are statistically significant ($P < 0.05$).

[۱] افزایش وزن روزانه
[۲] مصرف خوراک روزانه
[۳] ضریب‌تبدیل خوراک
[abc] میانگین‌های با حروف متفاوت در هر یک از اثرات از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری (P < ۰/۰۵) دارند.

نتایج مربوط به یکنواختی در ۴ هفته ابتدایی (۲۸-۰ روزگی) در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. با توجه به در اختیار قرار گرفتن فضای کافی برای هر دو گروه پرورش‌یافته با تراکم ۱۴ و ۱۷، تا سن ۴ هفتگی اختلاف معنی‌داری بین دو تراکم پرورشی بر یکنواختی مشاهده نشد. هر چند که به‌نظر می‌رسد یکنواختی در تیمار با تراکم ۱۷ نسبت به ۱۴ کاهش عددی داشت. بنا بر این، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با شرط فراهم بودن تعداد آبخوری و دانخوری مناسب، پرورش با تراکم ۱۷ قطعه در هر متر مربع تاثیر معنی‌داری بر یکنواختی گله ندارد.

جدول ۳- تاثیر تراکم بر یکنواختی جوجه‌های گوشتی سویه آرین در پایان هفته چهارم (٪)

Table 3. The effect of density on the uniformity of Arian broiler chickens in the end of the fourth week (%)

سطح تراکم Density level	ضریب تغییرات Coefficient of variation	یکنواختی Uniformity
تراکم ۱۴ Density 14	10.91	66.29
تراکم ۱۷ Density 17	11.16	64.97
P-value	0.327	0.386
SEM	0.174	1.074

[abc] Means with different superscript letters in each effect are statistically significant ($P < 0.05$).
[abc] میانگین‌هایی با حروف متفاوت در هر یک از اثرات از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری (P < ۰/۰۵) دارند.

عملکرد ۲ هفته پایانی (۲۹-۴۲ روزگی) و کل دوره آزمایشی (۰-۴۲ روزگی): نتایج مربوط به تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر عملکرد جوجه‌های گوشتی سویه آرین در دو هفته پایانی (۲۹-۴۲ روزگی) و کل دوره آزمایشی (۰-۴۲ روزگی) در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.

هفته پنجم (۲۹-۳۵ روزگی): نتایج حاضر نشان می‌دهند که افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک روزانه و ضریب‌تبدیل خوراک تحت‌تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند ($P < 0.01$). افزایش وزن روزانه و مصرف خوراک در تیمارهای تحت دمای استاندارد با هر دو تراکم ۱۴ و ۱۷ نسبت به تیمارهای تحت تنش گرمایی بالاتر بودند ($P < 0.01$). جوجه‌های پرورش‌یافته تحت دمای استاندارد در هر دو تراکم، ضریب‌تبدیل خوراک بهتری را نسبت به جوجه‌های تحت تنش گرمایی در هر دو تراکم نشان دادند ($P < 0.01$). مقایسه اثرات اصلی نشان داد که دمای استاندارد سبب بهبود معنی‌دار افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی نسبت به تنش گرمایی شد ($P < 0.01$). اگرچه تراکم، هیچ یک از فراسنجه‌های عملکردی را در این دوره تحت تاثیر قرار نداد.

هفته ششم (۳۶-۴۲ روزگی): افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک و ضریب‌تبدیل خوراک در این هفته تحت تاثیر تراکم و دما قرار گرفتند ($P < 0.01$). مصرف خوراک در تیمارهای تحت دمای استاندارد در هر دو تراکم و افزایش وزن روزانه در تیمار تحت دمای استاندارد و تراکم ۱۴ نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود ($P < 0.01$). ضریب تبدیل خوراک در تیمارهای تراکم ۱۷ در هر دو دمای استاندارد و تنش گرمایی نسبت به تراکم ۱۴ در هر دو دما بالاتر بود ($P < 0.01$). مقایسه اثرات اصلی نشان داد که دمای استاندارد سبب بهبود افزایش وزن و مصرف خوراک جوجه‌های گوشتی نسبت به تنش گرمایی شد ($P < 0.01$). تراکم ۱۴ نیز سبب افزایش وزن و بهبود ضریب‌تبدیل خوراک نسبت به تراکم ۱۷ شد ($P < 0.01$).

کل دوره (۰-۴۲ روزگی): نتایج به دست‌آمده از کل دوره پرورش نشان می‌دهند که فراسنجه‌های عملکردی (افزایش وزن، مصرف خوراک و ضریب‌تبدیل خوراک) تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند ($P < 0.01$). مصرف خوراک در تیمارهای تحت دمای استاندارد در هر دو تراکم نسبت به تیمارهای تحت تنش گرمایی در هر دو تراکم بالاتر بود ($P < 0.01$). افزایش وزن روزانه در تیمار تحت دمای

استاندارد و تراکم ۱۴ نسبت به سایر تیمارها به‌صورت معنی‌داری بالاتر بود ($P < 0.01$). ضریب تبدیل خوراک نیز در تیمارهای تراکم ۱۴ نسبت به تراکم ۱۷ صرف نظر از دمای محیطی بهبود یافت ($P < 0.01$). مقایسه اثرات اصلی در کل دوره پرورش نشان داد که دمای استاندارد سبب بهبود افزایش وزن و مصرف خوراک جوجه‌های گوشتی شد ($P < 0.01$). تراکم ۱۴ نیز بر افزایش وزن بدن و بهبود ضریب‌تبدیل خوراک نسبت به تراکم ۱۷ اثر مثبتی را نشان داد ($P < 0.01$). اثر متقابل بین دمای سالن و تراکم گله در ۲ هفته پایانی و کل دوره پرورشی مشاهده نشد.

همان‌گونه که انتظار می‌رفت، تنش گرمایی اثرات مخربی بر افزایش وزن، مصرف خوراک و ضریب‌تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی داشت. اگرچه کاهش مصرف خوراک به‌دلیل افزایش دما تنها توضیح عملکرد ضعیف رشد در جوجه‌های تحت تنش گرمایی نیست. آلکالوز تنفسی، در نتیجه تنفس بیش از حد، سبب کاهش جریان خون به دستگاه گوارش و توزیع خون به بافت‌های محیطی می‌شود که ممکن است باعث عملکرد ضعیف رشد در شرایط تنش گرمایی شود (Zulkifli *et al*., 2009). همچنین، گزارش شده است که تراکم بالا می‌تواند دسترسی فیزیکی پرنده‌ها به دانخوری‌ها را کاهش دهد و وجود شرایط تنش گرمایی نیز سبب کاهش تمایل پرندگان به مصرف خوراک شود تا بتوانند دمای بدن خود را تحت این شرایط حفظ کنند (Son *et al*., 2022). محققین در این راستا گزارش کردند که تراکم بیش از ۱۶ پرنده در متر مربع اثرات منفی بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی در حال رشد داشت (Puron *et al*., 1995; Zuowei *et al*., 2011; Houshmand *et al*., 2012) که به‌وضوح در مطالعه ما نیز قابل مشاهده بود. علاوه بر این، مطالعه‌ای نشان داد که اختلال در عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی سویه آرین تحت دمای بالای محیط ممکن است با کاهش مصرف خوراک، اختلال در هضم و متابولیسم، ساختار ژنتیکی پرندگان و کاهش اندازه و ترشح غده تیروئید همراه باشد (Hosseini-Vashan *et al*., 2016).

جدول ۴- تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر عملکرد جوجه‌های گوشتی سویه آرین در ۲ هفته پایانی

Table 4. The effect of density and heat stress on the performance of Arian broiler chickens in the last 2 weeks

		۲۹-۳۵ روزگی 29-35 days			۳۶-۴۲ روزگی 36-42 days			۰-۴۲ روزگی 0-42 days		
دما Temperature	تراکم Density	DWG[1] (g)	DFI[2] (g)	FCR[3]	DWG (g)	DFI (g)	FCR	DWG (g)	DFI (g)	FCR
استاندارد	14	68.87[a]	131.90[a]	1.92[b]	90.93[a]	202.45[a]	2.29[b]	51.58[a]	96.47[a]	1.87[b]
Normal	17	71.26[a]	134.88[a]	1.90[b]	83.85[b]	197.71[a]	2.36[a]	49.77[b]	95.47a	1.92[a]
تنش گرمایی	14	52.69[b]	112.93[b]	2.15[a]	70.99[c]	160.01[b]	2.26[b]	45.41[c]	85.29[b]	1.88[b]
Heat stress	17	56.89[b]	116.05[b]	2.06[a]	62.28[d]	157.04[b]	2.44[a]	44.55[d]	85.92[b]	1.93[a]
P-Value		<0.001	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	0.025
SEM		1.765	1.771	0.047	1.377	2.324	0.039	0.47	0.736	0.015
اثرات اصلی Main effect										
دما Temperature										
استاندارد Normal		70.06[a]	133.39[a]	1.91[b]	87.39[a]	200.08[a]	2.29	50.68[a]	96.08[a]	1.89
تنش گرمایی Heat stress		54.79[b]	114.50[b]	2.10[a]	67.62[b]	158.53[b]	2.35	44.98[b]	85.60[b]	1.90
P-Value		<0.001	<0.001	0.0004	<0.001	<0.001	0.144	<0.001	<0.001	0.627
تراکم Density										
14		60.78	122.42	2.03	80.95[a]	181.23	2.25[b]	48.50[a]	90.88	1.87[b]
17		64.07	125.47	1.98	74.06[b]	177.38	2.40[a]	47.16[b]	90.80	1.93[a]
P-Value		0.074	0.097	0.280	<0.001	0.114	0.0006	0.009	0.918	0.003
اثرات متقابل Interaction effects										
دما×تراکم Temperature× Density		0.614	0.971	0.489	0.896	0.706	0.531	0.325	0.344	0.976

[1] افزایش وزن روزانه
[2] مصرف خوراک روزانه
[3] ضریب‌تبدیل خوراک
[abc] میانگین‌های با حروف متفاوت در هر یک از اثرات از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری (P < ۰/۰۵) دارند.

[1] Daily Weight Gain
[2] Daily Feed Intake
[3] Feed conversion ratio
[abc] Means with different superscript letters in each effect are statistically significant (P < 0.05).

وزن‌های لاشه و اندام‌های داخلی

نتایج مربوط به تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر وزن لاشه و اندام‌های داخلی جوجه‌های گوشتی سویه آرین در جدول ۵ نشان داده شده‌اند. همان گونه که مشاهده می‌شود، اوزان سینه، چربی سنگدان، قلب و اندام‌های لنفاوی (بورس فابریسیوس، طحال و تیموس) و قطر بطن راست و چپ تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند ($P < 0.01$). وزن‌های بورس فابریسیوس، تیموس و طحال و قطر بطن راست قلب در تیمارهای تحت دمای استاندارد نسبت به تیمارهای تحت تنش گرمایی بالاتر بودند ($P < 0.01$) و بین تراکم ۱۴ و ۱۷

اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد اگرچه وزن چربی سنگدان و قلب در تیمار تحت تنش گرمایی با تراکم ۱۴ نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود ($P < 0.01$). بررسی اثرات اصلی نشان داد که تنش گرمایی سبب کاهش معنی‌دار اوزان سینه، اندام‌های لنفاوی و قطر بطن راست قلب شد ($P < 0.01$) اگرچه وزن‌های ران، چربی سنگدان و قلب را افزایش داد ($P < 0.01$). تراکم کمتر نیز سبب افزایش وزن سینه و چربی سنگدان و قلب شد ($P < 0.01$). اثر متقابل دمای سالن و تراکم گله نیز وزن چربی سنگدان ($P < 0.01$)، طحال و قطر بطن چپ قلب ($P < 0.05$) را تحت تاثیر قرار داد.

تنش گرمایی معمولاً توده عضلانی سینه را شدیدتر کاهش می‌دهد؛ در نتیجه، نسبت ران به کل لاشه بالا می‌رود و سهم ران از وزن لاشه افزایش می‌یابد (Emami *et al*., 2021). از آنجایی‌که در این مطالعه نیز تنش گرمایی باعث کاهش معنادار وزن عضله‌ی سینه شده است، می‌توان افزایش وزن ران در جوجه‌های تحت تنش را با این دلیل توجیه کرد. همچنین، افزایش جربی سنگدان در جوجه‌های تحت تنش گرمایی (Gu *et al*., 2008) را می‌توان به‌دلیل تغییر در ترشح هورمون‌ها دانست. تنش گرمایی در جوجه‌های گوشتی می‌تواند منجر به افزایش رسوب چربی در بافت‌های مختلف از جمله اطراف سنگدان شود که یکی از دلایل آن افزایش سطح هورمون‌های استرس‌محور است که سبب تغییر در متابولیسم کربوهیدرات و چربی می‌شود. به‌علاوه، در تنش گرمایی جوجه‌ها اشتهای کمتری دارند و غذای کمتری مصرف می‌کنند، ولی جذب انرژی مصرف‌شده از خوراک بیشتر می‌شود و کندشدن حرکت خوراک در دستگاه گوارش، فرصت بیشتری را برای جذب لیپیدها ایجاد می‌کند که بخشی از آن در بافت‌های بینابینی مانند اطراف سنگدان ذخیره می‌شود.

در شرایط تنش گرمایی، نیاز است که پمپاژ خون برای انتقال گرما به سطح بدن افزایش یابد؛ در نتیجه، ضربان قلب و فشار شریانی بالا می‌رود که محرکی برای رشد و ضخیم‌تر شدن عضله قلب است که نشانه‌ای از هیپرتروفی قلبی در پاسخ به تنش گرمایی است (Gogoi *et al*., 2021).

گزارش شد که پرندگان پرورش‌یافته در دمای استاندارد و تراکم پایین‌تر، رشد بدن و ساختار لاشه بهتر و درصد بالاتری از تولید گوشت سینه را به‌خود اختصاص دادند (Skrbic *et al*., 2009) که هم‌راستا با نتایج مطالعه‌ی حاضر است. وزن اندام‌های لنفاوی معمولاً به‌عنوان معیاری برای بررسی وضعیت ایمنی در طیور ثبت می‌گردد. کاهش وزن این اندام‌ها در طول دوره‌ی پرورش نشان‌دهنده‌ی درجه بالایی از تنش و سرکوب سیستم ایمنی در تراکم‌های بالاتر است (Bilal *et al*., 2021). علاوه بر این، محققین گزارش کردند که اثرات تراکم وابسته به سن بود و عملکرد ضعیف و وزن اندام‌های لنفاوی پایین در پرندگان مسن‌تر پرورش‌یافته در تراکم بالا مشاهده شد (Qaid *et al*., 2016).

جدول ۵- تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر وزن نسبی اندام‌ها (درصدی از وزن بدن زنده) و قطر بطن‌های قلب (mm) در جوجه‌های گوشتی سویه آرین

Table 5. The effect of density and heat stress on the relative weights of organs (% of live body weight) and heart ventricular diameter (mm) in Arian broiler chickens

			اندام‌های داخلی (٪) Internal organs								اندام‌های لنفوییدی Lymphatic organs		
دما Temperature	تراکم Density	لاشه Carcass	سینه Breast	ران Thigh	چربی سنگدان Gizzard fat	چربی شکمی abdominal fat	کبد Liver	قلب Heart	قطر بطن راست Right ventricular diameter	قطر بطن چپ Left ventricular diameter	بورس فابریسیوس Bursa of Fabricius	طحال Spleen	تیموس Thymus
استاندارد Normal	14	62.74	20.69^{a}	20.72	0.186^{b}	0.800	2.141	0.395^{bc}	2.228^{a}	6.300^{a}	0.137^{a}	0.086^{a}	0.298^{a}
	17	61.16	19.45^{ab}	20.96	0.177^{b}	0.723	20.47	0.381^{c}	2.099^{a}	5.533^{b}	0.139^{a}	0.091^{a}	0.345^{a}
تنش گرمایی Heat stress	14	63.13	19.07^{b}	21.28	0.305^{a}	0.836	1.964	0.449^{a}	1.790^{b}	5.409^{b}	0.092^{b}	0.066^{b}	0.240^{ab}
	17	63.02	18.10^{b}	21.85	0.167^{b}	0.772	1.989	0.409^{b}	1.742^{b}	5.623^{b}	0.091^{b}	0.055^{c}	0.201^{b}
P-Value		0.346	0.0076	0.059	<0.0001	0.423	0.304	0.0002	0.004	0.029	0.00054	<0.0001	0.0051
SEM		0.852	0.477	0.288	0.0139	0.0485	0.0696	0.0094	0.0982	0.212	0.0115	0.0033	0.0270
اثرات اصلی Main effects													
دما Temperature													
استاندارد Normal		61.95	20.07^{a}	20.84^{b}	0.182^{b}	0.761	2.094	0.388^{b}	2.164^{a}	5.916	0.138^{a}	0.089^{a}	0.321^{a}
تنش گرمایی Heat stress		63.08	18.58^{b}	21.56^{a}	0.236^{a}	0.804	1.976	0.429^{a}	1.766^{b}	5.516	0.091^{b}	0.060^{b}	0.220^{b}
P-Value		0.199	0.0048	0.019	0.0007	0.386	0.103	0.0002	0.0005	0.071	0.0005	<0.0001	0.001
تراکم Density													
14		62.94	19.88^{a}	21.00	0.246^{a}	0.818	2.053	0.422^{a}	2.00	5.854	0.114	0.076	0.292
17		62.09	18.77^{b}	21.41	0.172^{b}	0.747	2.018	0.395^{b}	1.921	5.578	0.115	0.073	0.249
P-Value		0.330	0.029	0.174	<0.0001	0.159	0.623	0.0085	0.377	0.205	0.975	0.289	0.123
اثرات متقابل Interaction effects													
دما×تراکم Temperature× Density		0.397	0.786	0.583	0.0001	0.892	0.405	0.180	0.683	0.029	0.907	0.022	0.881

^{abc}میانگین‌های با حروف متفاوت در هر یک از اثرات از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار (P < ۰/۰۵) دارند.

^{abc} Means with different superscript letters in each effect are statistically significant ($P < 0.05$).

فراسنجه‌های هماتولوژی خون

نتایج مربوط به تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر فراسنجه‌های هماتولوژی خون جوجه‌های گوشتی سویه آرین در جدول ۶ گزارش شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، هیچ‌یک از فراسنجه‌های هماتوکریت، pH خون، تعداد گلبول‌های سفید مونوسیت، هتروفیل و ائوزینوفیل تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند. تنها تعداد لنفوسیت تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت و پرنده‌های تحت دمای استاندارد در هر دو تراکم ۱۴ و ۱۷ بالاترین میزان را نسبت به سایر تیمارها به خود اختصاص دادند ($P < 0.01$). بررسی اثرات اصلی نشان داد که دمای سالن سبب ایجاد تفاوت معنی‌دار در تعداد گلبول‌های سفید لنفوسیت و هتروفیل جوجه‌های گوشتی شد و جوجه‌های تحت تنش گرمایی تعداد لنفوسیت کمتر و هتروفیل بیشتری نسبت به جوجه‌های تحت دمای استاندارد داشتند ($P < 0.01$). همچنین، نسبت هتروفیل به لنفوسیت در جوجه‌های تحت تنش گرمایی در هر دو تراکم ۱۴ و ۱۷ بیشتر از جوجه‌هایی بود که در دمای استاندارد پرورش یافته بودند ($P < 0.01$). تراکم پایین سبب افزایش معنی‌دار تعداد مونوسیت ($P < 0.01$) و ائوزینوفیل ($P < 0.05$) شد.

تعداد گلبول‌های سفید به‌عنوان معیاری تعیین‌کننده در تنش گرمایی و سرمایی در طیور حائز اهمیت است (Ben Nathan *et al*., 1976). تنش در جوجه‌های گوشتی سبب اختلال در عملکرد گلبول‌های سفید می‌شود (McFariane & Curtis, 1989). در شرایط تنش گرمایی، درصد هتروفیل‌های خون افزایش و درصد لنفوسیت‌های خون کاهش پیدا می‌کنند (Ben Nathan *et al*., 1976; Gross, 1989; Zulkifli *et al*., 1995). نتایج مطالعه حاضر در رابطه با افزایش هتروفیل و کاهش لنفوسیت در اعمال تنش گرمایی در جوجه‌های گوشتی با یافته‌های این محققین همخوانی دارند.

نسبت هتروفیل به لنفوسیت نیز یکی از ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های بیولوژیک برای سنجش تنش در طیور است. وقتی جوجه‌های گوشتی در معرض تنش گرمایی قرار می‌گیرند، تغییرات هورمونی و فیزیولوژیک زیر باعث افزایش این نسبت می‌شود: ۱. تنش گرمایی با تحریک محور هیپوتالاموس–هیپوفیز–آدرنال، منجر به افزایش سطح هورمون کورتیکوسترون (کورتیزول) در گردش خون می‌شود. کورتیکوسترون یک گلوکوکورتیکوئید است که در پاسخ به تنش‌های مختلف از جمله گرما ترشح می‌شود، اثرات متعددی روی گلبول‌های سفید دارد و تحت تأثیر کورتیزول، هتروفیل‌ها از ذخایر بافتی به خون آزاد می‌شوند (Xu *et al*., 2018).

جدول ۶- تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر هماتوکریت، pH و تعداد گلبول‌های سفید خون در جوجه‌های گوشتی سویه آرین

Table 6. The effect of density and heat stress on hematocrit, pH, and the number of white blood cells in Arian broiler chickens

دما Temperature	تراکم Density	هماتوکریت (٪) Hematocrit (%)	pH خون Blood pH	گلبول‌های سفید خون (٪) White blood cells (%)				
				مونوسیت Monocyte	لنفوسیت Lymphocyte	هتروفیل Heterophil	نسبت هتروفیل به لنفوسیت Heterophil/ Lymphocyte	ائوزینوفیل Eosinophil
استاندارد	14	30.28	7.64	6.04	55.64[a]	33.25	0.59 [b]	5.07
Normal	17	31.42	7.67	4.84	57.18[a]	33.47	0.57 [b]	4.51
تنش گرمایی	14	29.71	7.65	6.57	50.14[b]	37.00	0.73 [a]	6.29
Heat stress	17	30.42	7.62	5.91	51.81[b]	37.54	0.73 [a]	4.74
P-Value		0.155	0.470	0.068	<0.0001	0.057	0.0005	0.054
SEM		0.764	0.013	0.484	0.800	1.148	0.028	0.619
				اثرات اصلی Main effect				
				دما Temperature				
استاندارد Normal		30.85	7.65	5.44	56.41[a]	33.36[b]	0.58 [b]	4.79
تنش گرمایی Heat stress		30.07	7.64	6.24	50.98[b]	37.27[a]	0.73 [a]	5.51
P-Value		0.195	0.314	0.153	<0.0001	0.0074	<0.001	0.732
				تراکم Density				
14		30.00	7.64	6.31[a]	52.89	35.12	0.66	5.68[a]
17		30.92	7.65	5.37[b]	54.49	35.50	0.64	4.62[b]
P-Value		0.792	0.236	0.026	0.078	0.950	0.532	0.0082
				اثرات متقابل Interaction effect				
دما×تراکم Temperature× Density		0.060	0.781	0.560	0.859	0.853	0.925	0.569

[abc]میانگین‌های با حروف متفاوت در هر یک از اثرات از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری (P < ۰/۰۵) دارند.

[abc] Means with different superscript letters in each effect are statistically significant ($P < 0.05$).

تیتر آنتی‌بادی تولیدشده علیه گلبول قرمز گوسفندی (SRBC) و واکسن نیوکاسل

نتایج حاصل از تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر بررسی ایمنی هومورال جوجه‌های گوشتی سویه آرین (جدول ۷) نشان می‌دهند که در پاسخ اولیه، جوجه‌های تحت دمای استاندارد و تراکم ۱۴ و ۱۷ بیشترین تیتر تولید آنتی‌بادی کل و IgG را نسبت به سایر تیمارها داشتند ($P < 0.01$)، اگرچه تیتر تولید آنتی‌بادی علیه گلبول قرمز گوسفندی در پاسخ ثانویه و تیتر آنتی‌بادی تولیدی علیه ویروس نیوکاسل در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. بررسی اثرات اصلی

نیز نشان داد که دمای استاندارد سبب افزایش تولید آنتی‌بادی کل، IgG و IgM در پاسخ اولیه نسبت به تنش گرمایی شد ($P < 0.01$)، اگرچه تراکم بر هیچ یک از فراسنجه‌های ایمنی هومورال تاثیر معنی‌داری نداشت.

نتایج به‌دست آمده به کاهش فعالیت ایمنی هومورال ناشی از تنش در برابر تزریق SRBC اشاره دارند. داده‌های حاضر نشان می‌دهند که تنش گرمایی در طول پرورش جوجه‌های گوشتی بر رشد و فعالیت سیستم ایمنی تأثیر می‌گذارد و در نتیجه پاسخ به چالش‌های محیطی بیماری‌زا را مختل می‌کند (Honda *et al*., 2015). محققین گزارش کردند که پاسخ آنتی‌بادی جوجه‌های دو نژاد راس و آرین تحت تنش گرمایی نسبت به جوجه‌های پرورش یافته دمای استاندارد پایین‌تر بود (Khajavi *et al*., 2003). با این‌وجود، گزارش شد که تنش گرمایی بر تولید آنتی‌بادی کل و اختصاصی علیه SRBC جوجه‌های گوشتی بی‌تاثیر بود (Hosseini-Vashan *et al*., 2012).

جدول ۷- تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر تیتر آنتی‌بادی تولیدشده علیه گلبول قرمز گوسفندی (SRBC[1]) و نیوکاسل (NDV[2]) در جوجه‌های گوشتی سویه آرین (log2)

Table 7. The effect of density and heat stress on the antibody titers against SRBC and NDV in Arian broiler chickens (log2)

دما Temperature	تراکم Density	تیتر آنتی‌بادی علیه گلبول قرمز گوسفندی Antibody titers against SRBC						تیتر آنتی‌بادی علیه نیوکاسل Antibody titers against NDV
		پاسخ اولیه Primary response			پاسخ ثانویه Secondary response			
		کل Total	IgG[3]	IgM[4]	کل Total	IgG	IgM	
استاندارد	14	5.00^{ab}	1.85^{ab}	3.14	6.28	4.00	2.28	6.28
Normal	17	5.85^{a}	2.00^{a}	3.85	6.28	4.14	2.14	5.85
تنش گرمایی	14	3.57^{bc}	1.28^{b}	2.42	5.57	3.00	2.57	6.71
Heat stress	17	2.42^{c}	1.28^{b}	1.14	6.42	3.28	3.14	6.00
P-Value		0.014	<0.0001	0.022	0.797	0.521	0.353	0.905
SEM		0.733	0.300	0.589	0.664	0.628	0.414	0.878
Main effects اثرات اصلی								
دما Temperature								
استاندارد Normal		5.42^{a}	1.92^{a}	3.50^{a}	4.28	4.07	2.21	6.07
تنش گرمایی Heat stress		3.00^{b}	1.21^{b}	1.75^{b}	6.00	3.14	2.85	6.35
P-Value		0.0029	0.025	0.007	0.671	0.152	0.134	0.747
تراکم Density								
14		4.28	1.50	2.78	5.92	3.50	2.42	5.40
17		4.14	1.64	2.50	6.35	3.71	2.64	5.92
P-Value		0.847	0.638	0.632	0.525	0.736	0.609	0.521
اثرات متقابل Interaction effects								
دما×تراکم Temperature× Density		0.185	1.000	0.102	0.525	0.910	0.397	0.872

[1] گلبول قرمز گوسفندی
[2] ویروس بیماری نیوکاسل
[3] ایمونوگلوبین مقاوم به مرکاپتواتانول
[4] ایمونوگلوبین حساس به مرکاپتواتانول
[abc] میانگین‌های با حروف متفاوت در هر یک از اثرات از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری (P < ۰/۰۵) دارند.

[1] Sheep Red Blood Cell
[2] Newcastle disease virus
[3] Immunoglobulin mercaptoethanol-resistant
[4] Immunoglobulin mercaptoethanol-sensitive
[abc] Means with different superscript letters in each effect are statistically significant ($P < 0.05$).

فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون

نتایج مربوط به تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی سویه آرین در جدول ۸ ارائه شده‌اند. همان گونه که از نتایج برآورد می‌شود، تنها میزان آنزیم‌های کبدی AST، ALT و مالون‌دی‌آلدهید در سرم خون جوجه‌های گوشتی تحت تاثیر اثرات متقابل فاکتورها قرار گرفتند ($P < 0.01$). با توجه به اثرات اصلی، سطح آنزیم AST در تنش گرمایی و تراکم ۱۴ به‌صورت معنی‌داری پایین‌تر بود ($P < 0.01$). میزان آنزیم ALT سرم خون جوجه‌های تحت دمای استاندارد با تراکم ۱۴ نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری پایین‌تر بود ($P < 0.01$). غلظت مالون‌دی‌آلدهید سرم خون نیز تنها در جوجه‌های تحت تنش گرمایی با تراکم ۱۷ نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($P < 0.01$). میزان گلوکز خون نیز در پرندگان تحت دمای استاندارد و تراکم ۱۴ نسبت به سایر تیمارها به‌صورت عددی بالاتر بود. بررسی اثرات اصلی نیز نشان می‌دهد که تنش گرمایی سبب کاهش میزان AST و افزایش ALT نسبت به دمای استاندارد شد ($P < 0.01$). همچنین، مقادیر GGT و مالون‌دی‌آلدهید در جوجه‌های تحت تنش گرمایی به‌صورت عددی بالاتر از جوجه‌های تحت دمای استاندارد بودند. تراکم بالا (۱۷) نیز سبب افزایش معنی‌دار مقادیر آنزیم‌های ALT، AST و مالون‌دی‌آلدهید نسبت به تراکم پایین (۱۴) شد ($P<0.01$). اثر متقابل دمای سالن و تراکم گله نیز بر میزان ALT و مالون‌دی‌آلدهید سرم خون جوجه‌های گوشتی به‌طور معنی‌داری تاثیرگذار بود ($P < 0.01$).

استرس اکسیداتیو توسط تنش گرمایی و تراکم بالا ایجاد می‌شود که می‌تواند به سیستم ایمنی و سیستم آنتی‌اکسیدانی

آسیب برساند و سبب تجزیه عضلات در جوجه‌های گوشتی شود (Nawaz *et al*., 2021). غلظت‌های غیر طبیعی ALT و AST در سرم خون نیز از شاخص‌های آسیب بافتی، به ویژه در کبد و عضله هستند (Xue *et al*., 2017; Nyblom *et al*., 2004). در مطالعه‌ی حاضر نیز سطوح AST وALT به‌عنوان شاخص‌های آسیب کبدی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. تنش گرمایی و تراکم بالا دمای بدن را افزایش دادند و در نتیجه منجر به افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و نیتروژن و آسیب اکسیداتیو بافتی شدند (Zuo *et al*., 2015). در این راستا، برخی از مطالعات گزارش کردند که فعالیت‌های ALT و AST سرم تحت تنش گرمایی افزایش یافت (Hosseini-Vashan *et al*., 2016; Wan *et al*., 2017; He *et al*., 2019). اخیرا، گزارش شده است که تنش گرمایی چرخه‌ای به‌طور قابل توجهی فعالیت AST را در روزهای ۲۸ و ۳۵ از سن جوجه‌های گوشتی افزایش می‌دهد (Luo *et al*., 2018). اگرچه در تضاد با نتایج بالا، مطالعاتی نشان دادند که غلظت‌های AST و ALT سرم در بین گروه‌های تحت دمای استاندارد و تنش گرمایی متفاوت نبودند (Aslam *et al*., 2021; Sohail *et al*., 2011). تفاوت در این نتایج ممکن است به سن پرنده، نوع تیمار و سیستم پرورش بستگی داشته باشد.

مالون‌دی‌آلدهید تولیدشده از پراکسیداسیون لیپیدی، یک ترکیب بسیار واکنش‌پذیر است که با استرس اکسیداتیو مرتبط است و منجر به افزایش رادیکال‌های آزاد می‌شود (Livingston *et al*., 2020). تنش گرمایی حاد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در پاسخ به استرس اکسیداتیو افزایش می‌دهد (Altan *et al*., 2003; McCord, 2000) و همچنین سبب افزایش محتوای مالون‌دی‌الدهید سرم خون می‌شود (Xu *et al*., 2020; Zhang *et al*., 2012b). در مطالعه‌ی حاضر، میزان مالون‌دی‌آلدهید سرم خون در جوجه‌های پرورش‌یافته تحت تنش گرمایی و تراکم بالا (۱۷) بیشتر از سایر تیمارها بود. بنا بر این، می‌توان نتیجه گرفت که جوجه‌های گوشتی تحت تراکم بالاتر در برابر تنش گرمایی آسیب‌پذیرتر هستند و پرورش در این شرایط می‌تواند عملکرد رشد آن‌ها را کاهش دهد (Son *et al*., 2022). طبق گزارش‌ها، تنش گرمایی مصرف خوراک را کاهش می‌دهد و منجر به هضم و جذب ضعیف مواد مغذی در جوجه‌های گوشتی می‌شود (Aslam *et al*., 2021). محققین نیز بیان کردند که سطح پایین گلوکز خون منعکس‌کننده کاهش مصرف خوراک تحت تراکم بالا و جذب مواد مغذی در طول تنش گرمایی بود (Son *et al*., 2022). در مطالعه ما نیز کاهش سطح گلوکز به‌صورت عددی و ضعف عملکرد جوجه‌های تحت تنش گرمایی به‌صورت معنی‌دار مشاهده شدند.

جدول ۸- تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی سویه آرین

Table 8. The effect of density and heat stress on the blood biochemical factors of Arian broiler chickens

دما Temperature	تراکم Density	پروتئین Protein (g/dl)	آلبومین Albumen (g/dl)	گلوبولین Globulin (g/dl)	گلوکز Glucose (mg/dl)	آسپارتات آمینو ترانسفراز AST[1] (U/L)	آلانین ترانسفراز ALT[2] (U/L)	گاما گلوتامین ترانسفراز GGT[3] (U/L)	شاخص آنتی اکسیدان Antioxidant (mmol/l)	مالون‌دی- آلدهید MDA[4] (nmol/ml)
استاندارد Normal	14	2.60	1.266	1.34	256.66	219.00[a]	20.16[b]	15.33	1.718	1.81[b]
	17	2.78	1.466	1.32	242.66	244.00[a]	27.50[a]	15.50	1.620	1.56[b]
تنش گرمایی Heat stress	14	2.53	1.383	1.16	244.83	211.83[b]	26.33[a]	20.80	1.538	1.43[b]
	17	2.70	1.333	1.36	246.16	225.16[a]	26.64[a]	16.16	1.456	2.48[a]
P-Value		0.250	0.093	0.217	0.395	0.010	<0.0001	0.108	0.173	<0.0001
SEM		0.090	0.053	0.072	6.187	6.220	0.973	0.718	0.0827	0.134
Main effects اثرات اصلی										
دما Temperature										
استاندارد Normal		2.69	1.36	1.33	249.50	231.50[a]	23.83[b]	15.41	1.66	1.69
تنش گرمایی Heat stress		2.61	1.35	1.26	245.50	218.50[b]	26.48[a]	18.50	1.49	1.95
P-Value		0.416	0.878	0.333	0.525	0.005	0.04	0.088	0.051	0.062
تراکم Density										
14		2.56	1.32	1.25	250.75	215.42[b]	23.25[b]	18.08	1.62	1.62[b]
17		2.74	1.40	1.34	244.25	234.58[a]	27.07[a]	15.83	1.53	2.02[a]
P-Value		0.067	0.179	0.219	0.306	0.005	0.008	0.205	0.289	0.007
اثرات متقابل Interaction effects										
دما×تراکم Temperature× Density		0.927	0.031	0.150	0.220	0.359	<0.0001	0.175	0.920	0.001

[abc] میانگین‌های با حروف متفاوت در هر یک از اثرات از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری (P < ۰/۰۵) دارند.

[1] Aspartate Aminotransferase
[2] Alanine Transaminase
[3] Gamma Glutamyl Transferase
[4] Malondialdehyde
[abc] Means with different superscript letters in each effect are statistically significant ($P < 0.05$).

کیفیت گوشت

نتایج مربوط به تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر کیفیت گوشت جوجه‌های گوشتی سویه آرین در جدول ۹ ارائه شده‌اند. همان‌گونه که می‌توان مشاهده کرد، pH در ساعت اولیه و ۴۸ ساعت بعد از کشتار، ماده خشک، پروتئین و افت پخت گوشت تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند

($P < 0.01$). جوجه‌های تحت دمای استاندارد و تراکم ۱۴ کمترین میزان pH و بیشترین ماده‌خشک و پروتئین گوشت را نسبت به سایر تیمارها به‌خود اختصاص دادند. افت پخت گوشت در تیمار تحت تنش گرمایی و تراکم ۱۷ نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود ($P < 0.01$). آنالیز پروفایل گوشت (TPA) سینه جوجه‌های گوشتی نیز نشان داد که فراسنجه‌های جوندگی، صمغی، خاصیت ارتجاعی و سختی گوشت تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند ($P < 0.01$). تنش گرمایی به‌همراه تراکم ۱۴ سبب افزایش میزان جوندگی، صمغی، فنری و سختی گوشت نسبت به سایر تیمارها شد ($P < 0.01$). بررسی اثرات اصلی نیز نشان داد که دمای استاندارد سبب کاهش pH، افت پخت، میزان جوندگی، صمغی و سختی و افزایش ماده خشک، چربی، پروتئین و حالت فنری گوشت نسبت به تنش گرمایی شد ($P < 0.01$). تراکم پایین نیز سبب کاهش pH و پروتئین و افزایش میزان جوندگی، صمغی و سختی گوشت نسبت به تراکم بالاتر شد ($P < 0.01$). اثر متقابل بین دمای سالن و تراکم گله نیز بر pH در ساعت اولیه، میزان پروتئین، افت پخت، جوندگی، صمغی، فنری و سختی گوشت نیز مشاهده شد ($P < 0.01$).

گزارشات اخیر بیان کرده‌اند که تراکم بالا سبب افت شدید کیفیت لاشه می‌شود (Zhang *et al*., 2012a; Abudabos *et al*., 2013). pH عامل مهمی در پایداری گوشت می‌باشد و افزایش آن می‌تواند سبب رشد میکروارگانیسم‌ها و به‌دنبال آن فساد سریع گوشت شود (Son *et al*., 2022). در توافق با نتایج بالا، مطالعه‌ی ما نیز نشان داد که تراکم بالا و تنش گرمایی سبب افزایش pH گوشت شد. همچنین، گزارش شده است که گرما و تراکم بالا بر کاهش نیروی برشی و افزایش ظرفیت نگهداری آب در گوشت سینه تأثیر می‌گذارند (Son *et al*., 2022). در مطالعه‌ای دیگر نیز بیان شده است که تنش گرمایی، ظرفیت نگهداری آب گوشت سینه را افزایش می‌دهد (Zhang *et al*., 2012a). اگرچه نتایج ما نشان دادند که تنش گرمایی و تراکم بر ظرفیت نگهداری آب گوشت سینه تاثیری نداشت ولی سبب افزایش افت پخت گوشت شد که خود نشان‌دهنده کاهش کیفیت گوشت است.

تخریب ماهیچه مرغ تحت تنش محیطی می‌تواند با افزایش فعالیت پروتئولیتیک مرتبط باشد (Ma *et al*., 2021). همچنین، نیروی برشی عضله به‌دلیل افزایش کورتیکوسترون در شرایط تنش‌آور کاهش می‌یابد (Lee *et al*., 2022). کورتیکوسترون یک عامل تعیین‌کننده در کاتابولیسم عضلانی ناشی از تنش گرمایی است (Furukawa *et al*., 2021) و سبب تخریب پروتئین از طریق تنظیم مثبت آتروژین-۱، یک یوبیکوئیتین لیگاز مخصوص ماهیچه حیوانی می‌شود (Zuo *et al*., 2015; Furukawa *et al*., 2021). این نتایج هم‌راستا با مطالعه حاضر هستند که افزایش درصد پروتئین گوشت را تنها در تیمار تحت دمای استاندارد و تراکم پایین نسبت به سایر تیمارها نشان می‌دهد. تراکم کم گله نیز سبب بهبود نیروی برشی گوشت به‌دلیل افزایش حرکت جوجه‌های گوشتی می‌شود (Castellini *et al*., 2002). بنا بر این، کاهش نیروی برشی در تراکم بالا نشان‌دهنده وضعیت تنش بیشتر و سطح فعالیت پایین‌تر جوجه‌ها است. نتایج ما نیز نشان می‌دهند که شرایط تنش‌زای محیطی می‌تواند سبب افزایش میزان جوندگی، صمغی یا آدامسی، فنری و سختی و کاهش همبستگی بافت گوشت نسبت به شرایط نرمال شود که این خود نشان‌دهنده کاهش کیفیت گوشت است.

با این‌حال، محققین گزارش کردند که کیفیت گوشت سینه تحت تاثیر تراکم بالا و تنش گرمایی قرار نگرفت و تمام مقادیر برای کیفیت گوشت در محدوده نرمال کیفیت عمومی گوشت سینه جوجه‌های گوشتی بودند (Goo *et al*., 2019b). بنا بر این، دلیل این نتایج ناسازگار برای تراکم و تنش گرمایی ممکن است به‌دلیل تغییرات در عوامل تجربی از جمله نژاد، سن کشتار، میزان و مدت تنش گرمایی در بین تحقیقات مختلف باشد (Goo *et al*., 2019b).

جدول ۹- تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر کیفیت گوشت سینه جوجه‌های گوشتی سویه آرین

Table 9. The effect of density and heat stress on the quality of breast meat in Arian broiler chickens

دما Temperature	تراکم Density	pH			ماده خشک DM[1] (%)	چربی Fat (%)	پروتئین Protein (%)	ظرفیت نگهداری آب WHC[2](%)	افت پخت CL[3] (%)	آنالیز پروفایل بافت TPA[4] (N)				
		۱ ساعت 1h	۲۴ ساعت 24h	۴۸ ساعت 48h						جوندگی Chewiness	صمغی Gumminess	شکست پذیری Fracturability	خاصیت ارتجاعی Springiness	سختی Hardness
استاندارد	14	6.36[b]	5.63	5.55[c]	28.04[a]	11.63	86.59[a]	71.48	16.26[bc]	14.58[b]	10.45[b]	0.339	1.54[b]	27.73[c]
Normal	17	6.29[b]	5.59	5.62[b]	27.48[ab]	10.05	81.21[c]	72.42	14.52[c]	10.46[b]	10.46[b]	0.407	1.90[a]	41.76
تنش گرمایی	14	6.36[b]	5.62	5.61[b]	26.98[b]	9.36	73.89[d]	71.86	17.44[b]	54.72[a]	31.82[a]	0.459	1.75[a]	74.92[a]
Heat stress	17	6.79[a]	5.56	5.68[c]	26.98[b]	7.91	83.78[b]	72.25	22.14[a]	9.49[b]	10.63[b]	0.298	1.26[c]	27.70[c]
P-Value		<0.0001	0.085	0.0024	0.025	0.155	<0.0001	0.740	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.090	<0.0001	<0.0001
SEM		0.057	0.020	0.019	0.357	0.769	0.810	0.651	0.725	3.571	2.910	0.044	0.057	4.486
Main effects (اثرات اصلی)														
دما (Temperature)														
استاندارد Normal		6.33[b]	5.61	5.58[b]	27.76[a]	10.84[a]	83.90[a]	71.95	15.98[b]	12.63[b]	10.31[b]	0.373	1.72[a]	34.75[b]
تنش گرمایی Heat stress		6.57[a]	5.59	5.64[a]	26.93[b]	8.63[b]	78.83[b]	72.06	19.20[a]	32.11[a]	21.33[a]	0.379	1.50[b]	51.31[a]
P-Value		0.006	0.283	0.031	0.011	0.044	<0.0001	0.874	0.0004	<0.0001	0.0017	0.900	0.0017	0.002
تراکم Density														
14		6.36 [b]	5.62	5.58[b]	27.51	10.49	80.24[b]	71.67	16.85	3465[a]	20.99[a]	0.399	1.64	51.33[a]
17		6.54[a]	5.57	5.65[a]	27.23	8.98	82.49[a]	72.34	18.33	10.09[b]	10.55[b]	0.353	1.58	34.73[b]
P-Value		0.0005	0.081	0.005	0.066	0.452	0.013	0.318	0.058	<0.0001	0.0025	0.315	0.261	0.0019
اثرات متقابل Interaction effects														
دما×تراکم Temperature× Density		0.0005	0.739	0.958	0.932	0.440	<0.0001	0.678	<0.0001	<0.0001	0.002	0.020	<0.0001	<0.0001

[abc]میانگین‌های با حروف متفاوت در هر یک از اثرات از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری (P < ۰/۰۵) دارند.

[1] Dry matter
[2]Water holding capacity
[3]Cooking loss
[4]Texture profile analysis
[abc] Means with different superscript letters in each effect are statistically significant ($P < 0.05$).

مورفولوژی روده

نتایج مربوط به تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر مورفولوژی روده جوجه‌های گوشتی سویه آرین در جدول ۱۰ ارائه شده‌اند. ارتفاع پرز در تیمارهای با تراکم ۱۴ در هر دو دمای استاندارد و تنش گرمایی بیشتر از تراکم ۱۷ در هر دو دما بود ($P < 0.01$). همچنین، عمق کریپت در تیمار تحت دمای استاندارد و تراکم ۱۴ نسبت به سایر تیمارها به‌صورت معنی‌داری بالاتر بود ($P < 0.01$) اگرچه عرض پرز و نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند. بررسی اثرات اصلی نیز نشان داد که دمای استاندارد سبب افزایش عمق کریپت نسبت به تنش گرمایی شد ($P < 0.05$). همچنین، تراکم پایین (۱۴) سبب افزایش ارتفاع پرز، عمق کریپت و ضخامت لایه ماهیچه‌ای نسبت به تراکم بالاتر (۱۷) شد ($P < 0.01$).

روده کوچک بخش مرکزی دستگاه گوارش است که در آن هضم و جذب مواد مغذی انجام می‌شود. ارتفاع پرزهای روده‌ی جوجه‌های گوشتی به‌شدت با بهبود سلامت، ساختار و افزایش سطح روده و کارایی جذب مواد مغذی مرتبط است (Alfaro *et al*., 2007). در سیستم‌های پرورش طیور، عوامل تنش‌آور حاد ممکن است با تغییر ساختار سلول‌های اپیتلیال و جمعیت میکروبی طبیعی، بر یکپارچگی روده تأثیر منفی بگذارند و فرصت بیشتری را برای باکتری‌های بیماری‌زا فراهم کنند (Adedokun & Olojede, 2019). در این راستا، نتایج ما نیز نشان دادند که شرایط تنش گرمایی و تراکم بالا به‌عنوان عوامل تنش‌آور سبب کاهش ارتفاع پرز و عمق کریپت و در نهایت کاهش کارایی روده در جذب مواد مغذی شد.

جدول ۱۰- تاثیر تراکم و تنش گرمایی بر مورفولوژی ژژنوم جوجه‌های گوشتی سویه آرین

Table 10. The effect of density and heat stress on the morphology of jejunum in Arian broiler chickens

دما Temperature	تراکم Density	ارتفاع پرز Villus height (µm)	عرض پرز Villus width (µm)	عمق کریپت Crypt depth (µm)	نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت VH:CD[1]	ضخامت ماهیچه Muscular layer thickness (µm)	مساحت پرز Villus surface area (mm^2)
استاندارد Normal	14	1054.67[a]	122.80	112.71[a]	9.40	293.92[a]	0.404[a]
	17	791.51[b]	114.91	84.26[b]	9.43	252.51[bc]	0.288[c]
تنش گرمایی Heat stress	14	1003.94[a]	111.19	92.64[b]	10.94	278.63[ab]	0.350[ab]
	17	828.04[b]	116.46	83.17[b]	10.03	233.58[c]	0.304[bc]
P-Value		0.0013	0.289	0.0006	0.168	0.018	0.0018
SEM		46.61	4.119	4.600	0.527	13.136	0.019
Main effects اثرات اصلی							
دما Temperature							
استاندارد Normal		923.09	119.36	98.49[a]	9.42	273.22	0.346
تنش گرمایی Heat stress		916.00	113.83	87.90[b]	10.49	256.11	0.327
P-Value		0.880	0.194	0.032	0.056	0.207	0.331
تراکم Density							
14		1029.31[a]	117.00	102.68[a]	10.17	386.28[a]	0.377 [a]
17		809.78[b]	116.19	83.72[b]	9.73	243.05[b]	0.296 [b]
P-Value		0.0001	0.845	0.0005	0.413	0.0036	0.0005
اثرات متقابل Interaction effects							
دما×تراکم Temperature× Density		0.360	0.155	0.052	0.388	0.891	0.085

[abc]میانگین‌های با حروف متفاوت در هر یک از اثرات از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری (P < ۰/۰۵) دارند.

[1] The ration of villus height to Crypt depth

[abc] Means with different superscript letters in each effect are statistically significant (P<0.05).

نتیجه‌گیری کلی

از داده‌های به دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که تراکم بالا و تنش گرمایی سبب کاهش عملکرد رشد در دوره‌ی پایانی، کاهش وزن اندام‌های لنفاوی، اختلال در عملکرد گلبول‌های سفید، کاهش فعالیت ایمنی هومورال، افزایش سطح ALT، AST و مالون‌دی‌آلدهید و به‌دنبال آن آسیب کبدی، کاهش کیفیت گوشت و عملکرد روده و در نهایت آسیب‌پذیرتر کردن پرنده نسبت به عوامل محیطی می‌شوند. با این‌حال، با توجه به داده‌های متناقض می‌توان گفت که اثرات تراکم بالا و تنش گرمایی در جوجه‌های گوشتی ممکن است با نژاد، محیط، سیستم‌های پرورش، طول دوره‌های آزمایشی و شدت هر یک از این عوامل تنش‌آور متفاوت باشند. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش گرمایی، تراکم بهینه ۱۴ قطعه در هر متر مربع است و پیشنهاد می‌شود که در زمان تنش گرمایی برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری از این تراکم استفاده شود.

تشکر و قدردانی

از ستاد توسعه زیست‌فناوری مرغ آرین که حمایت مالی این پژوهش را به‌عهده داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Aarif, O., & Mahapatra, P. S. (2013). The effect of cold stress on biochemical and hematological parameters in broad breasted white turkeys. *Wyno Journal of Biological Sciences,* 1(4), 20-23.

Abudabos, A. M., Samara, E. M., Hussein, E. O., Al-Ghadi, M. A. Q., & Al-Atiyat, R. M. (2013). Impacts of stocking density on the performance and welfare of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science,* 12, e11.

Adedokun, S. A., & Olojede, O. C. (2019). Optimizing gastrointestinal integrity in poultry: the role of nutrients and feed additives. *Frontiers in Veterinary Science,* 5, 346.

Akhlaghi, A., Zamiri, M. J., Ahangari, Y. J., Atashi, H., Pirsaraei, Z. A., Deldar, H., & Hashemi, S. R. (2013). Oral exposure of broiler breeder hens to extra thyroxine modulates early adaptive immune responses in progeny chicks. *Poultry Science,* 92, 1040-1049. https://doi.org/10.3382/ps.2012-02545.

Alagawany, M., Farag, M. R., Abd El-Hack, M. E., & Patra, A. (2017). Heat stress: effects on productive and reproductive performance of quail. *World's Poultry Science Journal,* 73(4), 747-756.

Alfaro, D. M., Silva, A. V. F., Borges, S. A., Maiorka, F. A., Vargas, S., & Santin, E. (2007). Use of yucca schidigera extract in broiler diets and its effects on performance results obtained with different coccidiosis control methods. *Journal of Applied Poultry Research,* 16, 248-254. https://doi.org/10.1093/japr/16.2.248.

Altan, O., Pabuccuo glu, A., Altan, A., Konyalio glu, S., & Bayraktar, H. (2003). Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers. *British Poultry Science,* 44, 545-550.

AOAC. (2004). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists; AOAC: Rockville, MD, USA.

Aslam, M. A., Ipek, E., Riaz, R., Ozsoy, S. Y., Shahzad, W., & Gule¸s, O. (2021). Exposure of broiler chickens to chronic heat stress increases. the severity of white striping on the pectoralis major muscle. *Tropical Animal Health and Production,* 53, 502. https://doi.org/10.1007/s11250-021-02950.

Ben Nathan, D., Heller, E. D., & Perek, M. (1976). The effect of short hest stress upon leucocyte count, plasma corticosterone level, plasma and leucocyte ascorbic acid count. *British Poultry Science,* 17, 481-485.

Bessei, W. (2006). Welfare of broilers: A review. *World's Poultry Science Journal,* 62, 455-466.

Bilal, R. M., Hassan, F. U., Farag, M. R., Nasir, T. A., Ragni, M., Mahgoub, H. A., & Alagawany, M. (2021). Thermal stress and high stocking densities in poultry farms: Potential effects and mitigation strategies. *Journal of Thermal Biology,* 99, 102944. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102944.

Castellini, C., Mugnai, C., & Dal Bosco, A. (2002). Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Science,* 60, 219-225. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00124-3.

Cengiz, O., Koksal, B. H., Tatli, O., Sevim, O., Ahsan, U., Uner, A. G., Ulutas, P. A., Beyaz, D., Buyukyoruk, S., & Yakan, A. (2015). Effect of dietary probiotic and high stocking density on the performance, carcass yield, gut microflora, and stress indicators of broilers. *Poultry Science,* 94, 2395-2403. https://doi.org/10.3382/ps/pev194.

Ekim, B., Calik, A., Ceylan, A., & Saçaklı, P. (2020). Effects of paenibacillus xylanexedens on growth performance, intestinal histomorphology, intestinal microflora, and immune response in broiler chickens challenged with Escherichia coli K88. *Poultry Science,* 99(1), 214-223. https://doi.org/10.3382/ps/pez460.

El-Hack, A., Mohamed, E., Alagawany, M., & Noreldin, A. E. (2018). Managerial and nutritional trends to mitigate heat stress risks in poultry farms. *Sustainability of Agricultural Environment in Egypt, Part II,* 325-338. https://doi.org/10.1007/698_2018_290.

Emami, N.K., Greene, ES., Kogut , M.H., & Dridi, S. (2021). Heat Stress and Feed Restriction Distinctly Affect Performance, Carcass and Meat Yield, Intestinal Integrity, and Inflammatory (Chemo)Cytokines in Broiler Chickens. *Frontiers in Physiology,* 12, 707757. https://doi.org/10.3389/fphys.2021.707757.

Estevez, I. (2007). Density allowances for broilers: Where to set the limits? *Poultry Science,* 86, 1265-1272. https://doi.org/10.1093/ps/86.6.1265.

Furukawa, K., Toyomizu, M., & Kikusato, M. (2021). Possible role of corticosterone in proteolysis, glycolytic, and amino acid metabolism in primary cultured avian myotubes incubated at high-temperature conditions. *Domestic Animal Endocrinology,* 76, 106608. https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2021.106608.

Gogoi, S., Kolluri, G., Tyagi, J., Marappan, G., Manickam, K., & Narayan, R. (2021). Impact of heat stress on broilers with varying body weights: Elucidating their interactive role through physiological signatures. *Journal of Thermal Biology,* 97, 102840. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102840.

Goo, D., Kim, J. H., Park, G. H., Delos Reyes, J. B., & Kil, D. Y. (2019a). Effect of heat stress and stocking density on growth performance, breast meat quality, and intestinal barrier function in broiler chickens. *Animals,* 9(3), 107. https://doi.org/10.3390/ani9030107.

Goo, D., Park, G. H., Han, G. P., Choi, H. S., Kim, J. H., & Kil, D. Y. (2019b). Effect of stocking density and sex on growth performance, meat quality, and intestinal barrier function in broiler chickens. *Poultry Science,* 98, 1153-1160. https://doi.org/10.3382/ps/pey491.

Gross, W. B. (1989). Factors affecting chicken thrombocyte morphology and the relationship with heterophil: lymphocyte ratios. *British Poultry Science,* 30, 919-925. https://doi.org/10.1080/00071668908417218.

Gu, X. H., Li, S. S., & Lin, H. (2008). Effects of Hot Environment and Dietary Protein Level on Growth Performance and Meat Quality of Broiler Chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,* 21, 1616-1623. https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70395.

Gupta, S., Jindal, N., Khokhar, R. S., Gupta, A. K., Ledoux, D. R., & Rottinghaus, G. E. (2005). Effect of ochratoxin A on broiler chicks challenged with Salmonella gallinarum. British Poultry Science, 46(4), 443-450. https://doi.org/10.1080/00071660500190850.

He, S., Li, S., Arowolo, M. A., Yu, Q., Chen, F., Hu, R., & He, J. (2019). Effect of resveratrol on growth performance, rectal temperature and serum parameters of yellow-feather broilers under heat stress. *Animal Science Journal,* 90(3), 401-411. https://doi.org/10.1111/asj.13161.

Honda, B. T. B., Calefi, A. S., Costola-de-Souza, C., Quinteiro-Filho, W. M., da Silva Fonseca, J. G., de Paula, V. F., & Palermo-Neto, J. (2015). Effects of heat stress on peripheral T and B lymphocyte profiles and IgG and IgM serum levels in broiler chickens vaccinated for Newcastle disease virus. *Poultry Science,* 94(10), 2375-2381. https://doi.org/10.3382/ps/pev192.

Houshmand, M., Azhar, K., Zulkifli, I., Bejo, M. H., & Kamyab, A. (2012). Effects of prebiotic, protein level, and stocking density on performance, immunity, and stress indicators of broilers. *Poultry Science,* 91, 393-401. https://doi.org/10.3382/ps.2010-01050.

Hosseini-Vashan, S. J., Golian, A., & Yaghobfar, A. (2016). Growth, immune, antioxidant, and bone responses of heat stress-exposed broilers fed diets supplemented with tomato pomace. *International Journal of Biometeorology,* 60, 1183-1192. https://doi.org/10.1007/s00484-015-1112-9

Lambert, G. P. (2009). Stress-induced gastrointestinal barrier dysfunction and its inflammatory effects. *Journal of Animal Science,* 87, 101-108.

Lara, L. J., & Rostagno, M. H. (2013). Impact of heat stress on poultry production. *Animals,* 3, 356-69. https://doi.org/10.3390/ani3020356.

Lee, D., Lee, H. J., Jung, D. Y., Kim, H. J., Jang, A., & Jo, C. (2022). Effect of an animal-friendly raising environment on the quality, storage stability, and metabolomic profiles of chicken thigh meat. *International Food Research Journal,* 155, 111046. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.11104

Livingston, M., Cowieson, A., Crespo, R., Hoang, V., Nogal, B., Browning, M., & Livingston, K. (2020). Effect of broiler genetics, age, and gender on performance and blood chemistry. *Heliyon,* 6, e04400.

Luo, J., Song, J., Liu, L., Xue, B., Tian, G., & Yang, Y. (2018). Effect of epigallocatechin gallate on growth performance and serum biochemical metabolites in heat-stressed broilers. *Poultry Science,* 97, 599-606. https://doi.org/10.3382/ps/pex353.

Ma, B., Zhang, L., Li, J., Xing, T., Jiang, Y., & Gao, F. (2021). Heat stress alters muscle protein and amino acid metabolism and accelerates liver gluconeogenesis for energy supply in broilers. *Poultry Science,* 100, 215-223. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.090.

McCord, J. M. (2000). The evolution of free radicals and oxidative stress. *The American Journal of Medicine,* 108, 652-659. https://doi.org/10.1016/S0002-9343(00)00412-5

McFariane, J. M., & Curtis, S. E. (1989). Multiple concurrent stressors in chicks. *Poultry Science,* 68, 522-527.

Moberg, G. P., & Mench, J. A. (2000). The biology of animal stress (Ed): basic principles and implications for animal welfare. CABI.

Najafi, P., Zulkifli, I., Jajuli, N. A., Farjam, A. S., Ramiah, S. K., Amir, A. A., O'Reily, E., & Eckersall, D. (2015). Environmental temperature and stocking density effects on acute phase proteins, heat shock protein 70, circulating corticosterone and performance in broiler chickens. *International Journal of Biometeorology,* 59, 1577-1583. https://doi.org/10.1007/s00484-015-0964-3

Nawaz, A. H., Amoah, K., Leng, Q. Y., Zheng, J. H., Zhang, W. L., & Zhang, L. (2021). Poultry response to heat stress: Its physiological, metabolic, and genetic implications on meat production and quality including strategies to improve broiler production in a warming world. *Frontiers in Veterinary Science,* 8: 699081. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.699081.

Nyblom, H., Berggren, U., Balldin, J., & Olsson, R. (2004). High AST/ ALT ratio may indicate advanced alcoholic liver disease rather than heavy drinking. *Alcohol and Alcoholism,* 3, 336-339. https://doi.org/10.1093/alcalc/agh074.

Puron, D., Santamaria, R., Segura, J. C., & Alamilla, J. L. (1995). Broiler performance at different stocking densities. *Journal of Applied Poultry Research,* 4, 55-60. https://doi.org/10.1093/japr/4.1.55.

Qaid, M., Albatshan, H., Shafey, T., Hussein, E., & Abudabos, A. M. (2016). Effect of stocking density on the performance and immunity of 1-to 14-d-old broiler chicks. *Brazilian Journal of Poultry Science,* 18, 683-692. https://doi.org/10.1590/1806-9061-2016-0289.

Saracila, M., Panaite, T. D., Mironeasa, S., & Untea, A. E. (2021). Dietary supplementation of some antioxidants as attenuators of heat stress on chicken meat characteristics. *Agriculture,* 11(7), 638. https://doi.org/10.3390/agriculture11070638.

Sarrami, Z., Sedghi, M., Mohammadi, I., Kim, W. K., & Mahdavi, A. H. (2022). Effects of bacteriophage supplement on the growth performance, microbial population, and PGC-1α and TLR4 gene expressions of broiler chickens. *Scientific Reports,* 12, 14391. https://doi.org/10.1038/s41598-022-18663-1

Sedghi, M., Dalvi Esfahani, M., Mahdavi, A. H., & Ghasemi, R. (2021). Effects of barley malt extract on performance, immune responses and jejunal histology of laying hens. *Iranian Journal of Animal Science Research,* 13(4), 601-614. https://doi.org/10.22067/ijasr.2021.38287.0. [In Persian]

Shin J. E., Kim, J. H., Goo, D., Han, G. P., Pitargue, F. M., Kang, H. K., & Kil, D. Y. (2018). Effect of dietary supplementation of betaine on productive performance, egg quality and jejunal tight junction-related gene expression in laying hens raised under hot environmental conditions. *Livestock Science,* 214, 79-82. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.05.013.

Skrbic, Z., Pavlovski, Z., & Lukic, M. (2009). Stocking density: factor of production performance, quality and broiler welfare. *Biotechnology in Animal Husbandry,* 25, 359.

Sohail, M., Rahman, Z., Ijaz, A., Yousaf, M., Ashraf, K., Yaqub, T., Zaneb, H., Anwar, H., & Rehman, H. (2011). Single or combined effects of mannan-oligosaccharides and probiotic supplements on the total oxidants, total antioxidants, enzymatic antioxidants, liver enzymes, and serum trace minerals in cyclic heat-stressed broilers. *Poultry Science,* 90, 2573-2577. https://doi.org/10.3382/ps.2011-01502.

Sohail, M. U., Ijaz, A., Yousaf, M. S., Ashraf, K., Zaneb, H., Aleem, M., & Rehman, H. (2010). Alleviation of cyclic heat stress in broilers by dietary supplementation of mannan-oligosaccharide and Lactobacillus-based probiotic: Dynamics of cortisol, thyroid hormones, cholesterol, C-reactive protein, and humoral immunity. *Poultry Science,* 89, 1934-1938. https://doi.org/10.3382/ps.2010-00751.

Son, J., Kim, H. J., Hong, E. C., & Kang, H. K. (2022). Effects of stocking density on growth performance, antioxidant status, and meat quality of finisher broiler chickens under high temperature. *Antioxidants,* 11(5), 871. https://doi.org/10.3390/antiox11050871.

Teeter, R. G., Smith, M. O., Owens, F. N., Arp, S. C., Sangiah, S., & Breazile, J. E. (1985). Chronic heat stress and respiratory alkalosis: Occurrence and treatment in broiler chicks. *Poultry Science,* 64, 1060-1064. https://doi.org/10.3382/ps.0641060.

Wan, X., Jiang, L., Zhong, H., Lu, Y., Zhang, L., & Wang T. (2017). Effects of enzymatically treated Artemisia annua L. on growth performance and some blood parameters of broilers exposed to heat stress. *Animal Science Journal,* 88(8), 1239-1246. https://doi.org/10.1111/asj.12766

Xue, B., Song, J., Liu, L., Luo, J., Tian, G., & Yang, Y. (2017). Effect of epigal- locatechin gallate on growth performance and antioxidant capacity in heat-stressed broilers. *Archives of Animal Nutrition,* 71, 362-372. https://doi.org/10.3382/ps/pex353.

Xu, Y., Lai, X., Li, Z., Zhang, X., &Luo, Q. (2018). Effect of chronic heat stress on some physiological and immunological parameters in different breed of broilers. *Poultry Science,* 97, 4073-4082. https://doi.org/10.3382/ps/pey256.

Xu, Y., Li, Z., Zhang, S., Zhang, H., & Teng, X. (2020). miR-187-5p/apaf-1 axis was involved in oxidative stress-mediated apoptosis caused by ammonia via mitochondrial pathway in chicken livers. *Toxicology and Applied Pharmacology,* 388, 114869. https://doi.org/10.1016/j.taap.2019.114869.

Zhang, C., Zhao, X. H., Yang, L., Chen, X. Y., Jiang, R. S., Jin, S. H., & Geng, Z. Y. (2017). Resveratrol alleviates heat stress-induced impairment of intestinal morphology, microflora, and barrier integrity in broilers. *Poultry Science,* 96, 4325-4332. https://doi.org/10.3382/ps/pex266.

Zhang, Z., Jia, G., Zuo, J., Zhang, Y., Lei, J., Ren, L., & Feng, D. (2012a). Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat. *Poultry Science,* 91, 2931-2937. https://doi.org/10.3382/ps.2012-02255.

Zhang, Z. W., Wang, Q. h., Zhang, J. L., Li, S., Wang, X. L., & Xu, S. W. (2012b). Effects of oxidative stress on immunosuppression induced by selenium deficiency in chickens. *Biological Trace Element Research,* 149, 352-361. https://doi.org/10.1007/s12011-012-9439-0.

Zulkifli, I., Al-Aqil, A., Omar, A. R., Sazili, A. Q., & Rajion, M. A. (2009). Crating and heat stress influence blood parameters and heat shock protein 70 expression in broiler chickens showing short or long tonic immobility reactions. *Poultry Science,* 88, 471-476. https://doi.org/10.3382/ps.2008-00287.

Zulkifli, L., Dunnington, E. A., Gross, W. B., & Siegel, P. B. (1995). Inhibition of adrenal steroidogenesis,food restriction and acclimation to high ambient temperature in chickens. *British Poultry Science,* 35, 417-426.

Zuo, J., Xu, M., Abdullahi, Y. A., Ma, L., Zhang, Z., & Feng, D. (2015). Constant heat stress reduces skeletal muscle protein deposition in broilers. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 95, 429-436. https://doi.org/10.1002/jsfa.6749.

Zuowei, S., Yan, L., Yuan, L., Jiao, H., Song, Z., Guo, Y., & Lin, H. (2011). Stocking density affects the growth performance of broilers in a sex-dependent fashion. *Poultry Science,* 90, 1406-1415. https://doi.org/10.3382/ps.2010-01230.