**Animal Production Research**

Vol. 12, No. 2, 2023 (15-29)
doi: 10.22124/AR.2023.23553.1743
eISSN: 2538-6107 pISSN: 2252-0872

University of Guilan

**RESEARCH PAPER** **OPEN ACCESS**

# Effect of corn particle size on performance, relative weights of gastrointestinal organs, and small intestine morphology in male Ross 308 broiler chickens

**A. Atrian[1], A. Karimi[2*], A. A. Sadeghi[2]**

1. Ph.D. Student of Animal and Poultry Nutrition, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2. Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

(Received: 02-01-2023 – Revised: 01-04-2023 – Accepted: 03-04-2023)

**Introduction:** Many studies have been conducted to determine proper corn particle sizes for mash or pelleted diets in broiler chicken's nutrition, aiming not only to achieve optimum production goals such as higher weight gain and minimum feed conversion ratio but also to reduce milling energy expenditures. However, pelleted and crumbled feed forms are mainly used in intensive poultry production systems in many countries, and mash feed is primarily common in less intensive production systems. Mash feed is less costly and puts less pressure on birds' metabolic systems to achieve their optimum biological growth potential, which may result in higher welfare and lower metabolic disorders. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effects of different proportions of fine and coarse ground corn (3- and 6-mm sieve opening hole size, respectively) on performance, the relative weight of gastrointestinal organs (%), and intestinal morphology in male broiler chickens.

**Materials and methods:** A total of 576 1-day-old male Ross 308 broiler chicks were purchased from a commercial hatchery and raised from 1 to 42 days of age. All birds received identical basal diets from 1 to 11 days of age, but different experimental diets from 12 to 42 d. Experimental diets (12 to 42 days of age) consisted of six corn mixtures prepared by combining different proportions (w/w) of corn ground through sieves with either hole sizes of 3 or 6 mm as 100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 20:80 and 0:100 percentage, respectively. The particle size characteristics including geometric mean diameter (GMD) and geometric standard deviation (GSD) of ground corn and finished feed samples were determined. Birds' body weight was recorded at 12, 24, and 42 days of age as a group basis for the calculation of birds' bodyweight gain (BWG) during the grower (12-24 d) and finisher (25-42d) periods. The birds' feed intakes (FI) were also measured during the same period to calculate the feed conversion ratio (FCR) after adjustments were made for the body weights of dead birds, which were recorded daily. on the 21$^{st}$ day of the experiment, two birds from each pen were selected and killed *via* cervical dislocation. The liver, gizzard, small intestine, caecum, and pancreas of the sampled birds were carefully removed from their abdominal cavity, their weights were recorded carefully, and the relative weights of these parts to the live body weights were calculated and expressed as the percentage of birds live weights. Gizzard acidity was measured on the 21$^{st}$ day of the experiment. Parts from the middle of the jejunum and ileum of slaughtered birds (21 d) were excised and flushed gently with saline solution and immediately placed in a 10% formalin solution. Villus height, villus width, and crypt depth were measured in the laboratory.

**Results and discussion:** Results showed that feeding mash diets with different particle sizes (~775, 835, 910, 1000, 1060, and 1150 µm) had no significant effects on birds' BWG, FI, and FCR during different growth periods. However, the orthogonal polynomial contrast test showed that the changing of feed particle size from fine (~775 µm) to coarser particles by combining different portions of corn ground with a sieve hole size of 3 mm (~775 µm) and 6 mm (~1150 µm) had linearly deteriorated BWG and FCR from 12 to 24 days of age. The birds' mortality

* Corresponding author: akarimi@uok.ac.ir

rate (%) was not influenced by average feed particle size from 12 to 42 days of age. The negative influence of very coarse particle size from 12 to 24 days of age (>1000 µm) in the current experiment is an indicator of birds' gastrointestinal limits in dealing with coarse particles. The coarse grain particles increase the energy required for the growth and maintenance of the gizzard. The results of the current experiment showed that feed particle size did not significantly affect the relative weights of gastrointestinal sections to body weight at 21 d ($P$>0.05). However, the relative weight of gizzard to live body weight at 21 d significantly ($P$<0.001) increased in birds fed diets with higher average particle size (≥775 µm). The results of the orthogonal polynomial contrast test showed that the relative weight of gizzard to live body weight at 21 days of age linearly ($P$<0.0001) increased by changing the feed particle size from fine to coarser particles. Coarse particles increased the digesta content in the gizzard, which stimulates the development of the gizzard. In addition, the findings of the current experiment indicated that ileum and jejunum morphometry traits such as villus height, crypt depth, villus height to crypt depth, villus tips, and base widths were not influenced by changing the average feed particle size. The pH of gizzard content at 21 days of age was not influenced by the feed particle size.
**Conclusions:** Feed particle size of 775 to 1150 µm in a corn-based mash diet had no significant effect on performance traits or small intestine morphology traits. However, high coarse diets had the potential to deteriorate BWG and FCR at earlier stages of the growth period.
**Keywords*:*** Broilers, Diet, Feed conversion efficiency, Feed processing
**Conflicts of interest:** The authors declare no conflicts of interest.
**Funding:** The authors received no specific funding for this work.
**Acknowledgments:** The authors would like to acknowledge the staff of the farm and laboratory of the Department of Animal Science of the University of Kurdistan for their help in conducting this study.

**How to cite this article:**

Atrian, A., Karimi, A., & Sadeghi, A. A. (2023). Effect of corn particle size on performance, relative weights of gastrointestinal organs, and small intestine morphology in male Ross 308 broiler chickens. *Animal Production Research*, *12*(2), 15-29. doi: 10.22124/AR.2023.23553.1743

تحقیقات تولیدات دامی

سال دوازدهم/شماره دوم/تابستان ۱۴۰۲ (۲۹-۱۵)

Animal Production Research

دانشگاه گیلان

**مقاله پژوهشی**

# اثر اندازه ذرات ذرت بر عملکرد، وزن نسبی اندام‌های گوارشی و ریخت‌شناسی روده کوچک در جوجه خروس‌های گوشتی سویه راس ۳۰۸

**علیرضا عطریان[۱]، احمد کریمی[۲*]، امیرعلی صادقی[۲]**

۱- دانشجوی دکتری تغذیه دام و طیور، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

۲- استاد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲ – تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۲ – تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴)

## چکیده

این آزمایش به منظور بررسی آثار اندازه ذرات ذرت در جیره بر عملکرد، وزن نسبی اندام‌های گوارشی و صفات ریخت‌شناسی روده کوچک در جوجه خروس‌های گوشتی سویه راس ۳۰۸ انجام شد. در این آزمایش از ۵۷۶ قطعه جوجه خروس گوشتی یک روزه به مدت ۴۲ روز استفاده شد. جوجه‌ها به‌طور تصادفی به شش گروه آزمایشی، هرکدام با شش تکرار و ۱۶ پرنده در هر تکرار اختصاص یافتند. پرندگان در دوره آغازین (۱۱-۱ روزگی) با جیره آردی یکسان تغذیه شدند. جیره‌های آزمایشی در طول دوره سنی ۱۲ تا ۴۲ روزگی شامل شش جیره با میانگین اندازه ذرات متفاوت بودند که هر جیره با مخلوط کردن نسبت‌های مختلف (وزنی/وزنی) شامل ۱۰۰:۰، ۸۰:۲۰، ۶۰:۴۰، ۴۰:۶۰، ۲۰:۸۰ و ۰:۱۰۰ درصد از ذرت خرد شده با آسیاب چکشی دارای الک‌های با قطر سوراخ سه یا شش میلی‌متری تهیه شده بودند. نتایج مقایسات متعامد نشان داد که در دوره سنی ۱۲ تا ۲۴ روزگی، افزایش متوسط اندازه ذرات جیره از ۷۷۵ تا ۱۱۵۰ میکرومتر موجب کاهش افزایش وزن بدن و افزایش مقادیر ضریب تبدیل خوراک به‌صورت خطی شد (به ترتیب در $P=۰/۰۳$ و $P=۰/۰۵$). وزن نسبی سنگدان (درصد) به‌صورت خطی با افزایش اندازه ذرات خوراک افزایش یافت. به‌طور کلی، افزایش اندازه ذرات (۷۷۵ تا ۱۱۵۰ میکرومتر) در یک جیره آردی بر پایه ذرت در دوره سنی ۱۲ تا ۴۲ روزگی اثر معنی‌داری بر صفات عملکردی و ریخت‌شناسی روده کوچک نداشت، ولی دارای اثر منفی با روند خطی کاهندگی بر مقادیر عملکرد و افزایش وزن نسبی سنگدان بود.

**واژه‌های کلیدی**: جوجه‌های گوشتی، جیره، راندمان تبدیل خوراک، فرآوری خوراک

* نویسندهٔ مسئول: akarimi@uok.ac.ir

doi: 10.22124/AR.2023.23553.1743

**مقدمه**

دانه ذرت (*Zea mays* L.) از اقلام اصلی تشکیل‌دهنده جیره طیور است که به تنهایی می‌تواند تا ۶۵ درصد از انرژی قابل سوخت‌وساز و ۲۰ درصد از پروتئین مورد نیاز جوجه‌های گوشتی در دوره آغازین را تامین نماید (Cowieson, 2005). اگرچه ارزش تغذیه‌ای دانه ذرت به میزان زیادی تحت تاثیر عوامل قبل از برداشت دانه قرار دارد (Yin *et al*., 2017)، ولی نتایج بررسی‌ها بیانگر این هستند که روش‌های آماده‌سازی جیره همانند نحوه آسیاب کردن و اندازه ذرات آسیاب شده دانه ذرت نیز می‌تواند با تاثیر بر بافت و توزیع اندازه ذرات جیره تولیدی، عملکرد جوجه‌های گوشتی تغذیه شده را تحت تاثیر قرار دهند (Rubio *et al*., 2020). در هنگام تهیه دان یا خوراک کامل، اقلام اصلی خوراک خصوصاً دانه ذرت، عمدتاً برای کاهش اندازه ذرات و بهبود ویژگی‌های مخلوط‌پذیری آسیاب می‌شوند (Reece *et al*., 1986). در هنگام آسیاب کردن جیره با آسیاب چکشی عوامل زیادی همانند سرعت چکش‌ها و مخصوصاً قطر روزنه یا سوراخ الک‌ها بر اندازه و توزیع ذرات خوراک موثر بوده و با تأثیرگذاری بر بافت خوراک می‌توانند عملکرد و یکنواختی گله را تحت تاثیر قرار دهند. مطالعات زیادی برای تعیین اندازه مناسب ذرات خوراک و دانه ذرت در جیره‌های آردی یا پلت در جوجه‌های گوشتی انجام گرفته است تا بتوان ضمن بهبود وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک، موجب کاهش انرژی مورد نیاز در هنگام آسیاب کردن شد (Recce *et al*., 1986; Nir *et al*., 1994a, b; Chewning *et al*., 2012; Xu *et al*., 2015a; Mashahiri and Darmani Kuhi, 2021). اگرچه به‌طور سنتی، از اصطلاحاتی مانند دانه ریز، کوچک، متوسط، بزرگ و درشت برای توصیف اندازه ذرات خوراک آسیاب شده استفاده می‌شود، ولی اخیراً از اصطلاحات کمّی‌تر مانند میانگین هندسی قطر (Geometric mean diameter) و انحراف معیار هندسی (Geometric standard deviation) برای توصیف اندازه ذرات و توزیع یا یکنواختی ذرات خوراک آسیاب شده استفاده می‌شود (Baker and Herrman, 2002). اندازه بهینه ذرات در ذرت آسیاب شده یا خوراک کامل متغیر بوده و تابع عواملی مانند سن پرنده، شکل نهایی خوراک و غیره است (Chewning *et al*., 2012).

اگرچه در تغذیه مرغ گوشتی عمدتاً از خوراک به شکل پلت و کرامبل تولید شده در کارخانه‌های خوراک استفاده می‌شود، اما در شرایطی که خوراک در سطح مرغداری تولید شود و یا در مواردی که بنا بر دلایل مدیریتی، رشد بطئی جوجه‌های گوشتی مدنظر باشد، استفاده از خوراک آردی متداول‌تر است. تهیه خوراک آردی کم‌هزینه‌تر بوده و تغذیه از آن فشار کمتری را بر سیستم سوخت و ساز پرنده برای رسیدن به رشد زیستی بهینه مورد نظر اعمال نموده و در نتیجه می‌تواند به رفاه بیشتر و اختلالات متابولیکی کمتر در پرنده منجر شود (Brickett *et al*., 2007; Kuleile *et al*., 2020). نتایج مطالعات سنجش آثار اندازه ذرات خوراک بر عملکرد جوجه‌های گوشتی بیانگر این است که اندازه بهینه ذرات ذرت در جیره جوجه‌های گوشتی باید بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ میکرومتر باشد، که اهمیت آن در جیره‌های آردی در مقایسه با جیره‌های پلت یا کرامبل شده به دلیل نقش ذرات درشت‌تر در توسعه سنگدان و تحریک فعالیت روده از اهمیت بیشتری برخوردار است (Amerah *et al*., 2007a). آزمایش‌های انجام گرفته در جوجه‌های گوشتی نشان داده است که دسترسی آنزیم‌های گوارشی به ذرات ریزتر در مقایسه با ذرات درشت‌تر آسان‌تر بوده و در نتیجه موجب بهبود قابلیت هضم (Péron *et al*., 2005) و عملکرد می‌شود (Behnke, 1996; Péron *et al*., 2005; Xu *et al*., 2015a). با این‌حال، برای آسیاب ریزتر خوراک به انرژی بیشتری نیاز بوده و ظرفیت آسیاب کردن در واحد زمان نیز به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، به‌نحوی که افزایش اندازه قطر سوراخ الک آسیاب چکشی از ۴/۷۶ به ۶/۳۵ میلی‌متر موجب افزایش ظرفیت آسیاب به میزان ۲۷ درصد شده است (Reece *et al*., 1986 ).

از طرف دیگر، بر خلاف ذرات ریز، ذرات درشت مدت زمان بیشتری را در دستگاه گوارش سپری می‌نمایند که می‌تواند موجب تحریک توسعه سنگدان شده و روی میزان مصرف خوراک تاثیر منفی داشته باشد (Amerah and Ravindran, 2009). گزارش شده است که همبستگی منفی بین اسیدیته سنگدان و وزن سنگدان وجود دارد (Liu *et al*., 2015) و پرندگانی که با جیره‌های دارای ذرات درشت‌تر در مقایسه با ذرات ریز یا متوسط تغذیه شده باشند از pH سنگدان پایین‌تری برخوردار هستند. علاوه بر این، سنگدان کمتر توسعه یافته در پرندگان جوان از نظر فیزیکی قادر به شکستن ذرات درشت خوراک نبوده

(Covasa and Forbes., 1996) و در نتیجه ذرات درشت قبل از هضم کامل از دستگاه گوارش خارج می‌شوند که این مورد می‌تواند منجر به عملکرد رشدی ضعیف پرنده شود (Amerah *et al*., 2007a). بنابراین پیشنهاد شده است که برای افزایش ظرفیت فیزیکی دستگاه گوارش و سهولت سازگاری دستگاه گوارش با ذرات درشت و بهره بردن از مزایای مربوطه، هر چه زودتر جیره‌های با ذرات درشت در اختیار جوجه‌های گوشتی جوان قرار داده شود (Gabriel *et al*., 2003; Jacobs *et al*., 2010). با توجه به اهمیت تعیین اندازه مناسب ذرات خوراک در جیره‌های آردی، هدف از این آزمایش بررسی آثار اندازه ذرات در جیره‌های تولید شده با تغییر در اندازه ذرات ذرت آسیاب شده (به ترتیب با الک‌های با قطر سوراخ الک سه و شش میلی‌متری یا مخلوط آنها) بر عملکرد، وزن نسبی اندام‌های گوارشی (درصد) و ریخت‌شناسی روده در جوجه خروس‌های گوشتی بود.

## مواد و روش‌ها

*پرندگان و مدیریت پرورشی:* این آزمایش با استفاده از ۵۷۶ قطعه جوجه خروس گوشتی یک روزه سویه راس ۳۰۸ که از یک جوجه‌کشی تجاری خریداری شده بودند و در دوره سنی ۱ تا ۴۲ روزگی در شرایط یکسان پرورش داده شدند انجام شد. جوجه‌ها در هنگام ورود به سالن محل انجام آزمایش به‌طور تصادفی و بعد از توزین در داخل ۳۶ قفس بستری (۱۵۰×۱۴۰ سانتی‌متر) تقسیم شدند. کف قفس‌ها با استفاده از تراشه چوب به‌عنوان مواد بستری پوشانده شدند و در داخل هر قفس، دو آبخوری نیپل و یک دانخوری سطلی آویزان قرار داده شد. جیره‌های آزمایشی بر اساس نیاز سویه راس (Aviagen, 2019) برای سه دوره پرورشی آغازین (۱۱-۱ روزگی)، رشد (۲۴-۱۲ روزگی) و پایانی (۴۲-۲۵ روزگی) بر پایه ذرت و سویا تنظیم شدند. جوجه-های مورد آزمایش به‌صورت آزادانه و در حد اشتها به جیره آردی و آب تازه دسترسی داشتند. برنامه روشنایی سالن محل انجام آزمایش در دو روز اول، ۲۴ ساعت روشنایی و از روز سوم تا پایان آزمایش، ۲۳ ساعت روشنایی و یک ساعت تاریکی بود.

*تیمارها یا گروه‌های آزمایشی:* دانه کامل ذرت از یک فروشنده اقلام خوراکی تامین شد. از آسیاب چکشی با سرعت ۲۹۰۰ دور در دقیقه، ابعاد چکش ۳×۴۰×۱۰۰ میلی‌متر و قطر آسیاب چکشی ۳۰ سانتی‌متر برای آسیاب دانه کامل ذرت استفاده شد. از اقلام خوراکی یکسان برای تهیه جیره‌های آزمایشی در دوره‌های مختلف استفاده شد (جدول ۱). همه گروه‌های آزمایشی جیره‌های یکسانی را در دوره آغازین دریافت کردند، در حالی که در ادامه آزمایش (۱۲ تا ۴۲ روزگی)، جیره‌های آزمایشی مختلف که تفاوت آنها در میانگین اندازه ذرات بود دریافت می‌کردند. جیره‌های آزمایشی شامل شش مخلوط ذرت بودند که از ترکیب نسبت‌های مختلف (وزنی/وزنی) ذرت آسیاب شده با آسیاب چکشی دارای الک با قطر روزنه سه میلی‌متر (ضخامت ۲/۷ میلی‌متر و ۳۰/۲ درصد سطح باز) یا شش میلی‌متر (ضخامت ۳/۸ میلی‌متر و ۲۵/۱۸ درصد سطح باز) به ترتیب با نسبت‌های ۱۰۰:۰، ۸۰:۲۰، ۶۰:۴۰، ۴۰:۶۰، ۲۰:۸۰ و ۰:۱۰۰ درصد تهیه شده بودند. سپس هر مخلوط ذرت تهیه شده با سایر اجزاء جیره مانند کنجاله سویای آسیاب شده با آسیاب چکشی دارای الک با قطر روزنه سه میلی‌متر مخلوط شدند (جدول ۲).

*اندازه‌گیری اندازه ذرات:* مشخصه‌های اندازه ذرات شامل میانگین هندسی قطر (GMD) و انحراف معیار هندسی (GSD) ذرت آسیاب شده و نمونه‌های جیره طبق روش توصیف شده به وسیله Baker and Herrman (2002) تعیین شد. برای محاسبات میانگین هندسی قطر و انحراف معیار هندسی به ترتیب از فرمول‌های $GMD = \log^{-1} [\sum (W_i \log d_i) \sum W^{-1}]$ و $GSD= \log^{-1}[\sum W_i (\log d_i - \log dgw)^2 \sum W-1]^{½}$ استفاده شد که در آنها، $W_i$ و $d_i$ به ترتیب برابر با وزن خوراک باقی‌مانده در i امین الک و قطر i امین الک است. مقدار $d_i$ با استفاده از فرمول $d_i=(d_u \times d_0)^{0.05}$ محاسبه شد که در این فرمول، $d_u$ و $d_0$ به ترتیب عبارت است از قطر الک بالایی که ذرات از آن عبور کرده‌اند و قطر الک حاضر که ذرات از آن عبور نمی‌کنند. dgw نیز برابر با میانگین هندسی قطر اندازه ذرات است. به منظور اندازه-گیری اندازه ذرات، ابتدا هر صفحه الک به‌طور جداگانه وزن شد و سپس دسته الک‌ها به ترتیب درشت به ریز روی دستگاه شیکر (Endecott's Sieve Shaker EFL 2000/2, Endecotts Limited, London, UK) قرار داده شدند. نمونه خوراک ۱۰۰ گرمی در الک بالایی قرار داده شد و به شیکر به مدت ۱۰ دقیقه اجازه کار داده شد. سپس دسته الک از شیکر خارج شد و الک‌ها دوباره وزن شدند. قطر روزنه الک‌های مورد استفاده به ترتیب درشت به ریز

به‌صورت ۴/۷۵، ۳/۳۵، ۲/۰، ۱/۷، ۱/۰، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۰۷۵ میلی‌متر بود. مقادیر GMD و GSD محاسبه شده نمونه‌های خوراک در جدول ۲ خلاصه شده است.

*عملکرد:* وزن بدن پرندگان در سنین ۱۲، ۲۴ و ۴۲ روزگی برای محاسبه مقادیر افزایش وزن بدن (BWG) در طول دوره رشد و پایانی اندازه‌گیری شد. همچنین مصرف خوراک (FI) جوجه خروس‌ها در هر دوره برای محاسبه مقادیر ضریب تبدیل خوراک (FCR) پس از انجام تصحیح برای وزن بدن پرندگان تلف شده که روزانه ثبت می‌شد، اندازه‌گیری شد.

*وزن نسبی اندام‌های گوارشی:* در روز ۲۱ آزمایش، دو پرنده از هر قفس انتخاب، توزین و کشتار شدند. کبد، سنگدان، روده کوچک، سکوم و لوزالمعده پرندگان کشتار شده با دقت از حفره شکمی خارج و وزن خالی آنها اندازه‌گیری شد و سپس وزن نسبی این بخش‌ها نسبت به وزن بدن پرنده زنده محاسبه و به‌صورت درصدی از وزن زنده پرندگان بیان شد.

*اندازه‌گیری pH* برای اندازه‌گیری اسیدیته، محتویات سنگدان پرندگان نمونه‌برداری شد (در روز ۲۱). یک گرم از محتویات مواد هضمی جمع‌آوری شده از هر سنگدان با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به‌صورت سوسپانسیون درآمد و سپس pH آن با استفاده از pH متر دیجیتال کالیبره شده اندازه‌گیری شد (Eugenes *et al*., 2018).

*ریخت‌شناسی روده:* اندازه‌گیری ریخت‌شناسی روده مطابق روش Amerah *et al*. (2008b) انجام گرفت. به‌طور خلاصه، بخش‌هایی از بخش میانی ژژنوم و ایلئوم پرندگان کشتار شده (در روز ۲۱ آزمایش) بریده شد و به آرامی با محلول نمکی شستشو داده شد و در فرمالین ۱۰ درصد تثبیت شد. سپس نمونه‌ها با اتانول (۵۰٪، ۶۰٪، ۹۶٪ و الکل مطلق) آبگیری شدند و در موم جاسازی شدند و با استفاده از میکروتوم، برش‌های ۰/۵ میلی‌متری داده شدند (Leica RM 2145, Leica Instruments GmbH, Nussle, Germany). ارتفاع پرز (فاصله از راس پرز تا محل اتصال پرز و کریپت)، عرض پرز و عمق کریپت (فاصله بین غشاء پایه سلول‌های اپیتلیال تا محل اتصال پرز و کریپت) با میکروسکوپ نوری اندازه‌گیری شد (Olympus CX31, Tokyo, Japan).

*تجزیه آماری:* داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از روش مدل خطی عمومی (GLM) نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 2001) در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. قفس‌های بستری به عنوان واحد آزمایشی در نظر گرفته شدند. داده‌های تلفات قبل از تجزیه و تحلیل با استفاده از روش تبدیل جذری به‌صورت $\sqrt{X+1}$ تبدیل شدند. تفاوت معنی‌دار بین گروه‌های آزمایشی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد سنجیده شد. داده‌ها همچنین برای ارزیابی روند پاسخ به نسبت‌های مختلف آسیاب ذرت ریز و درشت با استفاده از رگرسیون خطی و درجه دوم تجزیه و تحلیل شدند.

## نتایج و بحث

*عملکرد:* نتایج این آزمایش در مورد آثار اندازه ذرات جیره کامل آردی بر صفات عملکردی (افزایش وزن بدن، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک)، در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تغذیه با جیره‌های آردی با میانگین اندازه ذرات متفاوت (~۷۷۵، ۸۳۵، ۹۱۰، ۱۰۰۰، ۱۰۶۰ و ۱۱۵۰ میکرومتر) تأثیر معنی‌داری بر افزایش وزن بدن، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک در پرندگان مورد آزمایش در دوره‌های رشدی مختلف نداشت ($P>۰/۰۵$).

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، نتایج مقایسه متعامد گروه‌های آزمایشی مختلف نشان داد که در دوره سنی ۱۲ تا ۲۴ روزگی، تغییر میانگین اندازه ذرات خوراک از ریز (~۷۷۵ میکرومتر) به ذرات درشت‌تر با ترکیب نسبت‌های مختلف از ذرت آسیاب شده با آسیاب دارای الک با اندازه قطر سه میلی‌متر (~۷۷۵ میکرومتر) و شش میلی‌متر (~۱۱۵۰ میکرومتر) با یک روند خطی موجب کاهش وزن بدن و افزایش مقادیر ضریب تبدیل خوراک شد (به ترتیب $P=۰/۰۳$ و $P=۰/۰۵$). همچنان که در جدول ۳ نشان داده شده است میزان مرگ و میر جوجه خروس‌های مورد آزمایش تحت تأثیر میانگین اندازه ذرات خوراک در دوره سنی ۱۲ تا ۴۲ روزگی قرار نگرفت. اگرچه اهمیت اندازه ذرات خوراک مناسب برای دستیابی به ویژگی‌های عملکردی مطلوب در جوجه‌های گوشتی بسیار مهم است، ولی نتایج گزارش‌های علمی منتشر شده در این خصوص متناقض است. در تعدادی از مطالعات گزارش شده است که پاسخ افزایش وزن جوجه‌های گوشتی به افزایش اندازه ذرات درشت تا ۱۱۷۲ میکرومتر دارای روند خطی

افزایشی بود (Singh *et al*., 2014). در حالی که تعدادی دیگر از محققان کاهش در وزن بدن جوجه‌های گوشتی با افزایش اندازه ذرات خوراک (Xu *et al*., 2015a)، و تعدادی دیگر از محققان عدم تاثیر معنی‌دار تغییر در اندازه ذرات خوراک بر وزن بدن جوجه‌های گوشتی را گزارش نموده‌اند (Amerah *et al*., 2008a; Amerah *et al*., 2008b; Rezaeipour and Gazani, 2014; Lv *et al*., 2015; Naderinejad *et al*., 2016).

به‌طور کلی فرض بر این است که ذرات خوراک ریز دارای سطح تماس بیشتری نسبت به ذرات درشت هستند که می‌تواند موجب افزایش هضم و جذب شود، در حالی که ذرات درشت، حرکت دستگاه گوارش را افزایش داده و احتمالاً عملکرد دستگاه گوارش را بهبود می‌بخشند (Xu *et al*., 2015a). روند منفی آثار ذرات بسیار درشت (بیش از ۱۰۰۰ میکرومتر) در آزمایش فعلی می‌تواند بیانگر محدودیت دستگاه گوارش پرندگان در مواجهه با ذرات درشت باشد که منجر به بروز روند کاهشی مقادیر صفات عملکردی در دوره سنی ۱۲ تا ۲۴ روز شده است. روند کاهش مصرف خوراک جوجه‌های تغذیه شده با جیره دارای میانگین اندازه ذرات درشت می‌تواند به دلیل ناتوانی آن‌ها در مصرف یا هضم ذرات بزرگ‌تر باشد (Xu *et al*., 2015b). مشخص شده است که ذرات درشت (بیش از ۱۳۰۰ میکرومتر) برای آسیاب شدن در سنگدان به انرژی بیشتری نیاز دارند (Pacheco *et al*., 2013) و افزایش زیاد اندازه ذرات به افزایش انرژی مورد نیاز برای نگهداری و رشد سنگدان منجر می‌شود که در نهایت می‌تواند موجب کاهش عملکرد جوجه‌های گوشتی شود (Parsons *et al*., 2006). بر خلاف این یافته‌ها، مطالعات دیگر نشان داده است که جیره با اندازه ذرات متوسط و درشت تأثیری بر مصرف خوراک در جوجه‌های گوشتی سویه راس ندارد (Amerah and Ravindran, 2009).

جدول ۱- ترکیب اجزا و مواد مغذی جیره‌های آزمایشی بر اساس as-fed

Table 1. Ingredient composition and nutrient contents of experimental diets (as-fed basis)

| Dietary components (g/kg as fed) | Grower (12-24 d) | Finisher (25-42 d) |
|---|---|---|
| Maize | 575.4 | 641.2 |
| Soybean meal | 359.6 | 302.1 |
| Soybean oil | 27.6 | 23.2 |
| Dicalcium phosphate[A] | 14.2 | 11.9 |
| Calcium carbonate[B] | 8.4 | 7.6 |
| Common salt | 3.7 | 3.7 |
| Lysine HCL | 2.0 | 1.9 |
| DL-Methionine | 3.4 | 3.0 |
| L-Threonine | 0.7 | 0.4 |
| Vitamin premix[C] | 2.5 | 2.5 |
| Mineral premix[D] | 2.5 | 2.5 |
| Calculated analysis | | |
| ME (kcal/kg) | 3000 | 3050 |
| Crude protein (g/kg) | 210 | 190 |
| Calcium (g/kg) | 7.7 | 6.7 |
| Available phosphorus (g/kg) | 3.8 | 3.4 |
| Lysine (g/kg) | 12.4 | 11.0 |
| Methionine (g/kg) | 6.4 | 5.7 |
| Methionine + Cysteine (g/kg) | 9.5 | 8.6 |
| Threonine (g/kg) | 8.5 | 7.4 |
| Analyzed nutrients | | |
| Crude protein (g/kg) | 207.4 | 187.3 |
| Dry matter (g/kg) | 880.3 | 888.0 |
| Ash (g/kg) | 64.6 | 62.2 |

[A] 380 g/kg calcium; [B] 190 g/kg phosphorus and 210 g/kg calcium.

[C] Provided per kilogram of vitamin premix: vitamin A (as all-trans retinol acetate), 3600000 IU; cholecalciferol, 800000 IU; vitamin E (as dl-α-tocopheryl acetate), 7200 mg; vitamin $K_3$ (as menadion sodium bisulfate), 800 mg; thiamine (as thiamin mononitrate), 700 mg; riboflavin, 2640 mg; pyridoxine, 1176 mg; biotin (as d-biotin), 40 mg; calcium d-pantothenate, 3920 mg; nicotinic acid, 11 860 mg; folic acid, 400 mg; choline chloride, 100 000 mg; antioxidant, 400 mg.

[D] Provided per kilogram of mineral premix: manganese (as MnO), 39680 mg; zinc ($ZnSO_4$. $7H_2O$), 33880 mg; iron ($FeSO_4$. $7H_2O$), 20000 mg; copper ($CuSO_4$. $5H_2O$), 4000 mg; iodine (KI), 396 mg; selenium ($Na_2SeO_3$, 80 mg, choline chloride, 100000 mg.

جدول ۲- توزیع اندازه ذرات، میانگین هندسی قطر (GMD[1]) و انحراف معیار هندسی (GSD[2]) نمونه‌های آسیاب شده ذرت و جیره‌های کامل آزمایشی

Table 2. Particle size distribution, geometric mean diameter (GMD[1]), and geometric standard deviation (GSD[2]) of corn ground samples and complete experimental diets

| Particle size (µm) | Corn ground, % (Opening sieve size, mm) | | Particle size distribution (%) of the grower (12-24 d) and finisher (25-42 d) basal diets prepared using a different combination (%) of two batches of whole corn ground in a hammer mill with different sieve opening size (3-, and 6 mm), while rest of the diet ground using a 3 mm sieve opening size. | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 mm | 6 mm | 3&6 (100:0, %) | | 3&6 (80:20, %) | | 3&6 (60:40, %) | | 3&6 (40:60, %) | | 3&6 (20:80, %) | | 3&6 (0:100, %) | |
| | | | Grower | Finisher | Grower | Finisher | Grower | Finisher | Grower | Finisher | Grower | Finisher | Grower | Finisher |
| 2000 to 3350 | 5.29 | 29.56 | 3.59 | 3.60 | 7.28 | 6.91 | 11.75 | 12.61 | 14.96 | 16.02 | 18.40 | 19.26 | 22.93 | 23.42 |
| 1700 to 2000 | 8.09 | 19.49 | 5.02 | 5.44 | 7.65 | 8.07 | 9.62 | 9.65 | 10.98 | 10.56 | 11.89 | 11.95 | 12.25 | 12.64 |
| 1000 to 1700 | 33.08 | 23.33 | 29.24 | 28.42 | 26.43 | 26.33 | 24.14 | 22.45 | 23.84 | 24.10 | 23.21 | 22.87 | 23.24 | 23.01 |
| 500 to 1000 | 27.38 | 18.44 | 37.45 | 37.55 | 36.48 | 36.14 | 35.39 | 34.78 | 35.10 | 34.14 | 32.39 | 32.24 | 31.46 | 30.28 |
| 250 to 500 | 24.95 | 8.46 | 22.49 | 22.93 | 20.96 | 21.25 | 18.11 | 19.13 | 13.97 | 14.46 | 12.88 | 12.56 | 9.13 | 9.49 |
| <250 | 0.77 | 0.26 | 1.64 | 1.42 | 0.82 | 0.89 | 0.66 | 0.79 | 0.62 | 0.34 | 0.62 | 0.39 | 0.54 | 0.47 |
| GMD[1] | 832.98 | 1358.77 | 774.75 | 774.54 | 839.45 | 835.52 | 914.22 | 907.44 | 993.53 | 1005.58 | 1052.39 | 1069.78 | 1150.92 | 1161.02 |
| GSD[2] | 1.89 | 1.87 | 1.83 | 1.82 | 1.86 | 1.87 | 1.91 | 1.94 | 1.90 | 1.90 | 1.93 | 1.92 | 1.90 | 1.90 |
| Analyzed nutrients | | | | | | | | | | | | | | |
| Dry matter, g/kg | | | 894 | 891 | 893 | 886 | 899 | 884 | 895 | 884 | 901 | 882 | 890 | 889 |
| Crude protein, g/kg | | | 207.8 | 191.5 | 205.5 | 191.9 | 208.0 | 186.1 | 205.9 | 190.0 | 208.0 | 186.5 | 211.1 | 187.9 |
| Ash, g/kg | | | 64.5 | 60.3 | 67.2 | 62.6 | 66.1 | 66.4 | 64.1 | 63.0 | 62.1 | 64.4 | 63.3 | 64.4 |

In this experiment, the GMD (geometric mean diameter) and GSD (geometric standard deviation) of ground corn before mixing and complete diets were determined.

[1] $GMD = \log^{-1} [\sum (Wi \log di) \sum W^{-1}]$

[2] $GSD = \log^{-1}[\sum W_i (\log d_i - \log dgw)^2 \sum W-1]^{½}$, where $d_i$ is the geometric diameter of particles on the $i^{th}$ sieve, $W_i$ is the weight fraction on the $i^{th}$ sieve.

در ارزیابی آثار اندازه ذرات خوراک (ریز، ۵۷۳ میکرومتر؛ متوسط، ۸۶۵ میکرومتر، و درشت با میانگین اندازه ذرات ۱۰۲۷ میکرومتر) در جوجه‌های گوشتی تغذیه شده با جیره‌های آردی، گزارش شد که پرندگان تغذیه شده با جیره حاوی ذرات متوسط و درشت، از میانگین مصرف خوراک روزانه بالاتری در کل ۴۲ روز آزمایش برخوردار هستند (Lv *et al*., 2015). عدم تأثیر قابل توجه اندازه ذرات خوراک بر مقادیر ضریب تبدیل خوراک در آزمایش فعلی (جدول ۳) با گزارش‌های تعدادی از محققان دیگر مبنی بر عدم تاثیر معنی‌دار افزایش اندازه ذرات خوراک بر مقادیر ضریب تبدیل خوراک مطابقت دارد (Amerah and Ravindran, 2009; Zang *et al*., 2009; Fronte *et al*., 2013). بر خلاف نتایج بالا، در پژوهشی دیگر، تغذیه از جیره آردی حاوی ذرات درشت موجب بهبود ضریب تبدیل خوراک شد (Amerah *et al*., 2007c). در بررسی آثار اندازه ذرات خوراک (ریز و درشت با استفاده از الک با قطر یک و هفت میلی‌متری) در جیره‌های دارای گندم یا ذرت، نشان داده شده است که تغذیه با جیره حاوی ذرات درشت موجب بهبود ضریب تبدیل خوراک شد (Amerah *et al*., 2008b)، در صورتی که در آزمایشی دیگر گزارش شده است که تغذیه از جیره با ذرات ریز (۴۹۰ میکرومتر) در مقایسه با ذرات درشت (۷۹۶ میکرومتر) موجب بهبود مقادیر ضریب تبدیل خوراک شد (Naderinejad *et al*., 2016). به‌طور کلی، عدم مشاهده آثار نامطلوب قابل توجه هنگام تغییر در اندازه ذرات خوراک بر مقادیر صفات تولیدی در آزمایش فعلی (~۷۷۵، ۸۳۵، ۹۱۰، ۱۰۰۰، ۱۰۶۰ و ۱۱۵۰ میکرومتر)، موید این موضوع است که جوجه‌های گوشتی در دوره سنی بعد از ۱۰ روزگی قادر به استفاده از جیره‌های با میانگین اندازه ذرات مختلف مورد استفاده در آزمایش کنونی هستند، اگرچه مشاهده روند خطی آثار کاهندگی تغذیه از جیره‌های حاوی ذرات درشت در مورد صفات افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک در دوره ۱۲ تا ۲۴ روزگی می‌تواند بیانگر محدودیت احتمالی در توانایی جوجه‌های گوشتی در استفاده کامل از ذرات درشت‌تر در مراحل اولیه دوره رشد باشد.

*دستگاه گوارش، اندام‌ها و ریخت‌شناسی روده:* وزن نسبی بخش‌های مختلف دستگاه گوارش و ریخت‌شناسی روده باریک در سن ۲۱ روزگی در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. نتایج آزمایش کنونی نشان داد که اندازه ذرات خوراک تاثیر معنی‌داری بر وزن نسبی بخش‌های مختلف دستگاه گوارش و ریخت‌شناسی روده در ۲۱ روزگی نداشت($P>۰/۰۵$). همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، نتایج آزمون مقایسات متعامد نشان داد که وزن نسبی سنگدان به وزن زنده در سن ۲۱ روزگی به‌صورت خطی با افزایش اندازه ذرات جیره که از مخلوط کردن اندازه ذرات حاصله از الک‌های سه و شش میلی‌متری به‌دست آمدند، افزایش یافت ($P<۰/۰۵$). در بررسی آثار دو شکل جیره (آردی و کرامبل) تهیه شده با نسبت ترکیبی ذرت ریز و درشت آسیاب شده با استفاده از آسیاب غلتکی، نشان داده شده است که وزن سنگدان به‌صورت خطی با افزایش اندازه ذرات در جیره‌های آردی افزایش یافت (Xu *et al*., 2015a). نتایج مطالعات دیگر (Fronte *et al*., 2013; Naderinejad *et al*., 2016) نیز نشان داده‌اند که تغذیه از خوراک‌های با اندازه ذرات درشت منجر به افزایش وزن نسبی سنگدان شد، در حالی که کاهش اندازه ذرات خوراک منجر به کاهش وزن نسبی سنگدان شد. با این حال، نتایج پژوهش‌های دیگران (Amerah *et al*., 2007c; Amerah *et al*., 2008a; Amerah and Ravindran, 2009; Rezaeipour and Gazani, 2014) نشان دادند که اندازه ذرات جیره آردی فاقد تاثیر معنی‌دار بر وزن نسبی سنگدان بود، اگرچه انتظار می‌رفت که تغذیه از جیره دارای ذرات درشت از راه تحریک رشد سنگدان موجب بهبود هضم مواد هضمی در دستگاه گوارش شود (Amerah *et al*., 2007b). روند افزایش وزن نسبی سنگدان در هنگام تغذیه از جیره با ذرات درشت‌تر در آزمایش کنونی می‌تواند بیانگر نوعی از سازگاری دستگاه گوارش پرنده برای تطابق به وجود ذرات درشت‌تر در خوراک باشد (Svihus *et al*., 2004; Svihus *et al*., 2011). علاوه بر این، یافته‌های آزمایش کنونی نشان داد که ویژگی‌های ریخت‌شناسی ایلئوم و ژژنوم (جدول ۵) همانند ارتفاع پرز، عمق کریپت، ارتفاع پرز به عمق کریپت، عرض بالایی و عرض پایین پرزها تحت تاثیر تغییر در میانگین اندازه ذرات خوراک قرار نگرفت. تحقیقات محدودی در مورد تأثیر اندازه ذرات خوراک بر ریخت‌شناسی روده انجام شده است. گزارش شده است که اندازه ذرات خوراک فاقد تاثیر بر ریخت‌شناسی روده (طول پرز، عمق کریپت و نسبت طول پرز به عمق کریپت) بود (Zang *et al*., 2009; Naderinejad *et al.,* 2016)، اگرچه در یک گزارش، عرض پرز با افزایش نسبت اندازه ذرات ریز خوراک در جیره‌های آزمایشی افزایش یافت (Fronte *et al*., 2013).

جدول ۳- اثر اندازه ذرات خوراک[۱] (µm) بر افزایش وزن بدن (گرم)، مصرف خوراک (گرم)، ضریب تبدیل خوراک (گرم / گرم) و میزان تلفات (٪) در جوجه خروس‌های گوشتی تغذیه شده با جیره آردی در دوره سنی ۱۲ تا ۴۲ روزگی

Table 3. Effect of feed particle size[1] (µm) on body weight gain (g), feed intake (g), feed conversion ratio (g/g), and mortality rate (%) in male broiler chicks fed mash diet from 12 to 42 days[2]

| Treatment | Complete feed particle size (µm)[1] | | Bodyweight gain (g) | | | Feed intake (g) | | | Feed conversion ratio (g/g) | | | Mortality (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12-24 d | 25-42 d | 12-24 d | 25-42 d | 12-42 d | 12-24 d | 25-42 d | 12-42 d | 12-24 d | 25-42 d | 12-42 d | |
| 1 | 774.8 | 774.5 | 665 | 1481 | 2145 | 1024 | 3180 | 4167 | 1.54 | 2.17 | 1.95 | 2.29 |
| 2 | 839.5 | 835.5 | 605 | 1574 | 2179 | 1003 | 3252 | 4220 | 1.66 | 2.08 | 1.95 | 3.18 |
| 3 | 914.2 | 907.4 | 629 | 1584 | 2214 | 1012 | 3261 | 4252 | 1.62 | 2.09 | 1.93 | 1.45 |
| 4 | 993.5 | 1005.6 | 604 | 1573 | 2177 | 981 | 3203 | 4161 | 1.64 | 2.05 | 1.92 | 2.13 |
| 5 | 1052.4 | 1069.8 | 584 | 1569 | 2152 | 988 | 3205 | 4172 | 1.70 | 2.05 | 1.94 | 2.17 |
| 6 | 1150.9 | 1161.0 | 582 | 1520 | 2103 | 988 | 3208 | 4174 | 1.72 | 2.13 | 2.00 | 2.01 |
| | | SEM | 11.24 | 25.46 | 27.83 | 8.40 | 29.51 | 32.64 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.18 |
| | | | *P*-value | | | | | | | | | |
| | | | 0.27 | 0.85 | 0.93 | 0.70 | 0.97 | 0.97 | 0.37 | 0.92 | 0.96 | 0.15 |
| | | | Contrast of average particle size | | | | | | | | | |
| | Linear | | 0.03 | 0.75 | 0.59 | 0.16 | 0.93 | 0.78 | 0.05 | 0.64 | 0.72 | 0.30 |
| | Quadratic | | 0.65 | 0.21 | 0.33 | 0.61 | 0.60 | 0.67 | 0.81 | 0.34 | 0.42 | 0.64 |
| | Cubic | | 0.65 | 0.75 | 0.91 | 0.88 | 0.51 | 0.52 | 0.54 | 0.88 | 0.70 | 0.61 |

[1] Geometric mean diameter of complete feed particle (µm) during 12 to 24 and 25 to 42 days of ages, respectively.

[2] For complete feed preparation, at first two batches of whole corn ground in a hammer mill with different sieve opening sizes (3-, and 6 mm) was prepared, then six different corn mix with different proportions of each batch (100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, and 0:100% of each 3-, and 6 mm batches) was prepared. These new six batches were mixed with the rest of the ingredients ground in a hammer mill with a 3 mm sieve opening size. Values are means of 6 replicate pens, with each pen containing 16 male chickens on arrival (40 g/bird). Duncan multiple range tests were applied to compare means. Means in a column not sharing a common superscript differ ($P<0.05$). SEM: Standard error of the means.

جدول ۴- اثر اندازه ذرات خوراک[1] (µm) بر وزن نسبی قطعات لاشه و اندام‌های گوارشی به وزن بدن زنده (درصد) و pH سنگدان در سن ۲۱ روزگی در جوجه خروس‌های گوشتی تغذیه شده با جیره آردی در دوره سنی ۱۲ تا ۴۲ روزگی

Table 4. Effect of feed particle size[1] (µm) on relative weights of carcass parts and gastrointestinal organs to live body weight (%) and gizzard pH at 21 days of age in male broiler chicken fed mash diet from 12 to 42 days[2]

| Treatment | Complete feed particle size (µm)[1] | | Gizzard | Duodenum | Jejunum | Ileum | Caecum | Proventtriculus | Pancreas | Liver | Gizzard pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12-24 d | 25-42 d | | | | | | | | | |
| 1 | 774.8 | 774.5 | 3.07[b] | 1.16 | 3.12 | 3.27 | 0.96 | 0.65 | 0.35 | 2.39 | 2.75 |
| 2 | 839.5 | 835.5 | 3.68[a] | 1.17 | 2.76 | 3.08 | 0.92 | 0.69 | 0.38 | 2.54 | 2.54 |
| 3 | 914.2 | 907.4 | 3.84[a] | 1.23 | 3.29 | 3.44 | 1.14 | 0.71 | 0.38 | 2.66 | 2.67 |
| 4 | 993.5 | 1005.6 | 4.08[a] | 1.19 | 3.20 | 3.16 | 0.97 | 0.69 | 0.37 | 2.48 | 2.71 |
| 5 | 1052.4 | 1069.8 | 4.11[a] | 1.24 | 2.97 | 3.11 | 0.92 | 0.69 | 0.40 | 2.63 | 2.82 |
| 6 | 1150.9 | 1161.0 | 4.25[a] | 1.23 | 3.31 | 3.44 | 1.09 | 0.71 | 0.38 | 2.61 | 2.72 |
| SEM | | | 0.09 | 0.02 | 0.07 | 0.06 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.08 |
| | | | *P*-value | | | | | | | | |
| | | | <0.001 | 0.71 | 0.16 | 0.30 | 0.18 | 0.55 | 0.64 | 0.37 | 0.98 |
| | | | Contrast of average particle size | | | | | | | | |
| Linear | | | <0.0001 | 0.17 | 0.29 | 0.59 | 0.45 | 0.17 | 0.31 | 0.14 | 0.73 |
| Quadratic | | | 0.11 | 0.64 | 0.75 | 0.48 | 0.94 | 0.38 | 0.51 | 0.43 | 0.85 |
| Cubic | | | 0.45 | 0.98 | 0.93 | 0.36 | 0.18 | 0.31 | 0.70 | 0.37 | 0.49 |

[1] Geometric mean diameter of complete feed particle (µm) during 12 to 24 and 25 to 42 days of ages, respectively.

[2] For complete feed preparation, at first two batches of whole corn ground in a hammer mill with different opening sieve size (3-, and 6 mm) was prepared, then six different corn mix with different proportions of each batch (100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, and 0:100% of each 3-, and 6 mm batches) was prepared. These new six batches mixed with the rest of the ingredients ground in a hammer mill with a 3 mm sieve opening size. Values are means of 6 replicate pens, with two birds per pen were sampled for measurements. Duncan multiple range tests were applied to compare means. Means in a column not sharing a common superscript differ ($P<0.05$). SEM: Standard error of the means.

جدول ۵- اثر اندازه ذرات خوراک (µm) بر ریخت‌شناسی ژژنوم و ایلئوم در سن ۲۱ روزگی در جوجه خروس‌های گوشتی تغذیه شده با جیره آردی در دوره سنی ۱۲ تا ۴۲ روزگی

Table 5. Effect of feed particle size (µm) on jejunum and ileum morphology at 21 days of age in male broiler chicken fed mash diet from 12 to 42 days[2]

| Treatment | Complete feed particle size (µm)[1] | | Jejunum (µm) | | | | | Ileum (µm) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12-24 d | 25-42 d | Villus height | Crypt depth | Villus height/ Crypt depth | Villi tip width | Villi base width | Villus height | Crypt depth | Villus height/ Crypt depth | Villi tip width | Villi base width |
| 1 | 774.8 | 774.5 | 491.4 | 146.1 | 3.43 | 85.2 | 87.6 | 378.8 | 112.0 | 3.50 | 93.6 | 101.8 |
| 2 | 839.5 | 835.5 | 446.1 | 128.5 | 3.66 | 74.0 | 96.2 | 353.8 | 111.5 | 3.23 | 102.1 | 115.9 |
| 3 | 914.2 | 907.4 | 517.4 | 136.9 | 4.08 | 83.6 | 89.9 | 375.0 | 113.4 | 3.34 | 99.6 | 111.8 |
| 4 | 993.5 | 1005.6 | 510.7 | 139.9 | 3.98 | 72.7 | 88.1 | 342.9 | 102.9 | 3.43 | 92.7 | 103.8 |
| 5 | 1052.4 | 1069.8 | 490.4 | 140.6 | 3.64 | 88.1 | 105.7 | 353.1 | 114.0 | 3.16 | 107.9 | 112.8 |
| 6 | 1150.9 | 1161.0 | 480.9 | 136.2 | 3.62 | 73.3 | 76.7 | 362.3 | 112.6 | 3.27 | 104.8 | 117.5 |
| SEM | | | 10.95 | 2.94 | 0.10 | 3.27 | 3.79 | 6.31 | 1.59 | 0.07 | 2.39 | 2.43 |
| | | | *P*-value | | | | | | | | | |
| | | | 0.49 | 0.66 | 0.43 | 0.60 | 0.37 | 0.55 | 0.35 | 0.69 | 0.37 | 0.33 |
| | | | Contrast of average particle size | | | | | | | | | |
| Linear | | | 0.74 | 0.87 | 0.70 | 0.68 | 0.72 | 0.37 | 1.00 | 0.34 | 0.17 | 0.22 |
| Quadratic | | | 0.45 | 0.60 | 0.06 | 0.95 | 0.28 | 0.37 | 0.36 | 0.79 | 0.81 | 0.92 |
| Cubic | | | 0.35 | 0.13 | 0.66 | 0.29 | 0.36 | 0.81 | 0.60 | 0.65 | 0.58 | 0.10 |

[1] Geometric mean diameter of complete feed particle (µm) during 12 to 24 and 25 to 42 days of ages, respectively.

[2] For complete feed preparation, at first two batches of whole corn ground in a hammer mill with different sieve opening size (3-, and 6 mm) was prepared, then six different corn mix with different proportions of each batch (100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, and 0:100% of each 3-, and 6 mm batches) was prepared. These new six batches mixed with the rest of the ingredients ground in a hammer mill with a 3 mm sieve opening size. Values are means of 3 replicate pens, with two birds per pen were sampled for measurements. Duncan multiple range tests were applied to compare means. SEM: Standard error of the means.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که pH محتوای سنگدان در سن ۲۱ روزگی تحت تأثیر اندازه ذرات خوراک قرار نگرفت (جدول ۴) که با نتایج مطالعات گزارش شده برخی از محققین مطابقت دارد (Jacobs *et al*., 2010; Fronte *et al*., 2013). وجود همبستگی منفی بین وزن سنگدان و pH سنگدان به وسیله تعدادی از محققان گزارش شده است (Liu *et al*., 2015)، که آن‌را به افزایش زمان ماندگاری خوراک به دلیل حجیم شدن سنگدان و متعاقباً افزایش ترشح اسید هیدروکلریک نسبت داده‌اند (Svihus, 2011). با این حال، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بالاتر بودن وزن نسبی سنگدان به وزن بدن ممکن است لزوماً با تغییر pH محتوای سنگدان مرتبط نباشد، که احتمالاً می‌تواند ناشی از تطابق پرنده و دوره سنی انجام آزمایش در تحقیق کنونی (۱۰ روزگی به بعد) باشد.

## نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که اندازه ذرات خوراک معادل ۷۷۵ تا ۱۱۵۰ میکرومتر در جیره آردی حاوی ذرت فاقد تأثیر معنی‌دار بر مقادیر ویژگی‌های عملکردی یا ریخت‌شناسی روده کوچک بود، اگرچه مقایسات متعامد نشان داد که افزایش اندازه ذرات خوراک دارای آثار با روند کاهشی بر افزایش وزن بدن و افزایش ضریب تبدیل خوراک در دوره سنی ۱۲ تا ۲۴ روزگی و همچنین افزایش وزن نسبی سنگدان در سن ۲۱ روزگی بود.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان از کمک کارکنان مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه گروه علوم دامی دانشگاه کردستان در این آزمایش قدردانی می‌نمایند.

## فهرست منابع

Amerah, A., & Ravindran, V. (2009). Influence of particle size and microbial phytase supplementation on the performance, nutrient utilisation and digestive tract parameters of broiler starters. *Animal Production Science*, 49, 704-710. doi: 10.1071/AN09026

Amerah, A., Ravindran, V., Lentile, R., & Thomas, D. (2007a). Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. *World's Poultry Science*, 63, 439-455. doi: 10.1017/S0043933907001560

Amerah, A., Ravindran, V., Lentle, R., & Thomas, D. (2007b). Influence of feed particle size and feed form on the performance, energy utilization, digestive tract development, and digesta parameters of broiler starters. *Poultry Science*, 86, 2615-2623. doi: 10.3382/ps.2007-00212

Amerah, A., Ravindran, V., Lentle, R., & Thomas, D. (2007c). Performance and digestive tract characteristics of broilers as influenced by particle size and feed form. In 'Proceedings of the 19th Australian Poultry Science Symposium'. New South Wales, Australia: Sydne. Pp. 85-88.

Amerah, A., Ravindran, V., Lentle, R., & Thomas, D. (2008a). Influence of particle size and xylanase supplementation on the performance, energy utilisation, digestive tract parameters and digesta viscosity of broiler starters. *British Poultry Science*, 49, 455-462. doi: 10.1080/00071660802251749

Amerah, A., Ravindran, V., Lentle, R., & Thomas, D. (2008b). Influence of feed particle size on the performance, energy utilization, digestive tract development, and digesta parameters of broiler starters fed wheat-and corn-based diets. *Poultry Science*, 87, 2320-2328. doi: 10.3382/ps.2008-00149

Aviagen. (2019). Ross 308: Broiler nutrition specifications [Online]. Available at: http://www.aviagen.com (verified 10 October 2020).

Baker, S., & Herrman, T. (2002). Evaluating feed particle size. Bulletin MF-2051. Kansas State Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Manhattan, KS.

Behnke, K. C. (1996). Feed manufacturing technology: current issues and challenges. *Animal Feed Science and Technology*, 62, 49-57. doi: 10.1016/S0377-8401(96)01005-X

Brickett, K. E., Dahiya, J. P., Classen, H. L., & Gomis, S. (2007). Influence of dietary nutrient density, feed form, and lighting on growth and meat yield of broiler chickens. *Poultry Science*, 86, 2172-2181. doi:10.1093/ps/86.10.2172

Chewning, C. G., Stark, C. R., & Brake, J. (2012). Effects of particle size and feed form on broiler performance. *Journal of Applied Poultry Research*, 21, 830-837. doi: 10.1093/ps/86.10.2172

Cowieson, A. J. (2005). Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 119, 293-305. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2004.12.017

Covasa, M., & Forbes, J. (1996). Effects of prior experience and training on diet selection of broiler chickens using wheat. *Applied Animal Behaviour Science*, 46, 229-242. doi:10.1016/0168-1591(95)00645-1

Eugenes, K. N., Esther, D. A., & Ekeno, M. A. (2018). Apparent nutrient digestibility, gut pH and digesta viscosity of broiler chickens fed acidified water. *Journal of Animal Science and Technology*, 5, 250-253. doi:10.15406/mojap.2018.05.00203

Fronte, B., Bayram, I., Akkaya, A. B., Rossi, G., & Bagliacca, M. (2013). Effect of corn particle size and inclusion of organic acid in the diet on growth performance and gastrointestinal structure in young chicks. *Italian Journal of Animal Science*, 12, e93. doi:10.4081/ijas.2013.e93

Gabriel, I., Mallet, S., & Leconte, M. (2003). Differences in the digestive tract characteristics of broiler chickens fed on complete pelleted diet or on whole wheat added to pelleted protein concentrate. *British Poultry Science*, 44, 283-290. doi: 10.1080/0007166031000096470

Jacobs, C., Utterback, P., & Parsons, C. M. (2010). Effects of corn particle size on growth performance and nutrient utilization in young chicks. *Poultry Science*, 89, 539-544. doi: /10.3382/ps.2009-00434

Kuleile, N., Kh, N., Kamoho, S., Macheli, T., Jobo, T., & Phororo, M. (2020). The effects of broiler feed forms on metabolic and skeletal disorders. O*nline Journal of Animal and Feed Research*, 10, 125-130. doi: 10.36380/scil.2020.ojafr17

Liu, S. Y., Truong, H. H., & Selle, P. H. (2015). Whole-grain feeding for chicken-meat production: possible mechanisms driving enhanced energy utilisation and feed conversion. *Animal Production Science*, 55, 559-572. doi: 10.1071/AN13417

Lv, M., Yan, L., Wang, Z., An, S., Wu, M., & Lv, Z. (2015). Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. *Animal Nutrition,* 1, 252-256. doi: 10.1016/j.aninu.2015.06.001

Mashahiri, S., & Darmani Kuhi, H. (2021). Effect of wheat particle size and different levels of enzyme supplement on performance, carcass traits, and small intestine morphology of Japanese quail. *Animal Production Research*, 10(1), 65-79. doi: 10.22124/AR.2021.16417.1528. [In Persian]

Naderinejad, S., Zaefarian, F., Abdollahi, M., Hassanabadi, A., Kermanshahi, H., & Ravindran, V. (2016). Influence of feed form and particle size on performance, nutrient utilisation, and gastrointestinal tract development and morphometry in broiler starters fed maize-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 215, 92-104. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.02.012

Nir, I., Shefet, G., & Aaroni, Y. (1994a). Effect of particle size on performance. 1. Corn. *Poultry Science*, 73, 45-49. doi: 10.3382/ps.0730045

Nir, I., Hillel, R., Shefet, G., & Nitsan, Z. (1994b). Effect of grain particle size on performance. 2. Grain texture interactions. *Poultry Science*, 73, 781-791. doi: 10.3382/ps.0730781

Pacheco, W., Stark, C., Ferket, P., & Brake, J. (2013). Evaluation of soybean meal source and particle size on broiler performance, nutrient digestibility, and gizzard development. *Poultry Science*, 92, 2914-2922. doi: 10.3382/ps.2013-03186

Parsons, A., Buchanan, N., Blemings, K., Wilson, M., & Moritz, J. (2006). Effect of corn particle size and pellet texture on broiler performance in the growing phase. *Journal of Applied Poultry Research*, 15, 245-255. doi: 10.1093/japr/15.2.245

Péron, A., Bastianelli, D., Oury, F. X., Gomez, J., & Carré, B. (2005). Effects of food deprivation and particle size of ground wheat on digestibility of food components in broilers fed on a pelleted diet. *British Poultry Science*, 46, 223-230. doi: 10.1080/00071660500066142

Reece, F. N., Lott, B. D., & Deaton, J. W. (1986). The effects of hammer mill screen size on ground corn particle size, pellet durability, and broiler performance. *Poultry Science*, 65, 1257-1261. doi: 10.3382/ps.0651257

Rezaeipour, V., & Gazani, S. (2014). Effects of feed form and feed particle size with dietary L-threonine supplementation on performance, carcass characteristics and blood biochemical parameters of broiler chickens. *Journal of Animal Science and Technology*, 56, 20. doi: 10.1186/2055-0391-56-20

Rubio, A. A., Hess, J. B., Berry, W. D., Dozier, III W. A., & Pacheco, W. J. (2020). Effects of corn particle size on broiler performance during the starter, grower, and finisher periods. *Journal of Applied Poultry Research*, 29, 352-361. doi: 10.1016/j.japr.2019.11.009

SAS (Statistical Analysis System). (2001). SAS/STAT® 9.1. User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Singh Y., Ravindran V., Wester T., Molan A., & Ravindran G. (2014). Influence of feeding coarse corn on performance, nutrient utilization, digestive tract measurements, carcass characteristics, and cecal microflora counts of broilers. *Poultry Science*, 93, 607-616. doi: 10.3382/ps.2013-03542

Svihus, B., Kløvstad, K. H., Perez, V., Zimonja, O., Sahlström, S., Schüller, R. B., Jeksrud, W. K., & Prestløkken, E. (2004). Physical and nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. *Animal Feed Science and Technology*, 117, 281-293. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2004.08.009

Svihus, B. (2011). The gizzard: Function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *World's Poultry Science*, 67, 207-224. doi: 10.1017/S0043933911000249

Xu, Y., Stark, C., Ferket, P., Williams, C., & Brake, J. (2015a). Effects of feed form and dietary coarse ground corn on broiler live performance, body weight uniformity, relative gizzard weight, excreta nitrogen, and particle size preference behaviors. *Poultry Science*, 94, 1549-1556. doi: 10.3382/ps/pev074

Xu, Y., Stark, C., Ferket, P., Williams, C., Auttawong, S., & Brake, J. (2015b). Effects of dietary coarsely ground corn and litter type on broiler live performance, litter characteristics, gastrointestinal tract development, apparent ileal digestibility of energy and nitrogen, and intestinal morphology. *Poultry Science*, 94, 353-361. doi: 10.3382/ps/peu016

Yin, D., Yuan, J., Guo, Y., & Chiba, L. I. (2017). Effect of storage time on the characteristics of corn and efficiency of its utilization in broiler chickens. *Animal Nutrition*, 3, 252-257. doi: 10.1016/j.aninu.2017.04.007

Zang, J., Piao, X., Huang, D., Wang, J., Ma, X., & Ma, Y. (2009). Effects of feed particle size and feed form on growth performance, nutrient metabolizability and intestinal morphology in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22, 107-112. doi: 10.5713/ajas.2009.80352