



Research Paper

Evaluation of the Impact of Processing Indices on the Physical Quality of Pellets and the Uniformity of Concentrate Mixtures under Industrial Conditions

Nafiseh Rahmanian sharif Abad¹ and Reza Vakili^{2*}

1- PhD student, Department of Animal Science, Islamic Azad University, Kashmar Branch, Kashmar, Iran; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3941-6667>

2- Full Professor, Department of Animal Science, Islamic Azad University, Kashmar Branch, Kashmar, Iran; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0011-2219> (Corresponding author), rezavakili2010@yahoo.com

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 18 June 2026

Accepted: 19 August 2026

Published online: Summer 2026

Keywords: Feed processing hammer, Sodium bentonite, pellets, wheat bran

In this study, the effects of certain feed manufacturing processes on the uniformity coefficient of concentrate and pellet quality were investigated. The experimental treatments included the use of new and worn hammers in the grinding process, the addition of 2% sodium bentonite, and the inclusion of wheat bran at levels of 15% and 25% in the diet formulation. At the end of the production process, six pellet samples were randomly selected and evaluated for pellet durability. Finally, the data were analyzed using SAS software. The results showed that the passage through sieves with mesh sizes 16 and 25 was lower for pellets ground with new hammers compared to worn hammers; however, the difference was not significant ($P > 0.05$). Passage through the 30-mesh sieve was significantly lower for concentrate pellets ground with new hammers ($P < 0.05$). In addition, the percentage of material remaining in the bottom pan was significantly lower in the treatment containing sodium bentonite ($P < 0.05$). Across all sieves, the percentage of passage and the amount of residue in the bottom pan were significantly higher in pellets containing 25% wheat bran ($P < 0.05$). The addition of 2% sodium bentonite significantly increased pellet durability and the number of grooves on the pellet surface ($P < 0.05$). Although the inclusion of wheat bran in the concentrate had no significant effect on pellet height and durability, it significantly increased the grooves on the pellet surface ($P < 0.05$). The use of new hammers during grinding and the inclusion of 2% sodium bentonite in the formulation improved pellet quality. However, increasing the level of wheat bran reduced the quality of the produced pellets.

Cite this article: Rahmanian sharif Abad, N. & Vakili, R. (2026). Evaluation of the Impact of Processing Indices on the Physical Quality of Pellets and the Uniformity of Concentrate Mixtures under Industrial Conditions. *Journal of Livestock Research*, 8 (2), 138-150. DOI: 10.22077/jlr.2026.11380.1061

Publisher: The University of Birjand Press.

DOI: <https://doi.org/10.22077/jlr.2026.11380.1061>

Extended Abstract

Introduction

The physical quality of animal feed, particularly the uniformity and durability of pellets, plays a critical role in feed intake, digestion efficiency, and overall animal performance. Variations in pellet quality can lead to selective feeding, increased dust, and nutritional imbalances. This study was designed to investigate the influence of specific feed manufacturing parameters and formulation adjustments on the uniformity coefficient and physical characteristics of concentrates and pellets. Specifically, the research focused on three key variables: the mechanical state of the grinding equipment, the use of binding agents, and the impact of fiber-source inclusion levels.

Materials and Methods

The experimental design was structured to evaluate the synergistic and individual effects of several manufacturing treatments. The first factor addressed the grinding stage, comparing the use of new hammers against worn hammers to determine the impact of particle size distribution on subsequent pelleting. The second factor involved the addition of 2% sodium bentonite to the formulation to assess its efficacy as a binding agent in improving structural integrity. The third factor focused on dietary formulation, specifically the inclusion of wheat bran at two distinct levels 15% and 25% to observe how varying fiber concentrations influence the mechanical properties of the final product.

During the production phase, the concentrates were processed through a pelleting mill under controlled conditions. Upon completion of the manufacturing cycle, six pellet samples were randomly selected from different batches to ensure a representative assessment of the entire production run. The evaluation focused on several key physical parameters: the uniformity coefficient (measured by the passage through various mesh sieves), pellet durability (PDI), pellet height, and surface morphology. All experimental data were subjected to statistical analysis using SAS software to determine the significance of the observed effects.

Results and Discussion

The results provided significant insights into how grinding precision and additives dictate the physical profile of the feed. Regarding the grinding process, it was observed that pellets produced with new hammers exhibited a lower passage rate through the 16 and 25 mesh sieves compared to those produced with worn hammers. This indicates that new hammers contribute to a more controlled particle size distribution; however, statistical analysis revealed that this specific difference was not significant ($P < 0.05$). Nevertheless, a significant distinction was found when examining the 30 mesh sieve, where pellets ground with new hammers showed a significantly lower passage rate ($P < 0.05$), suggesting that new hammers are more effective at preventing the over-fines production that occurs with the inconsistent cutting action of worn equipment.

The role of additives was clearly demonstrated by the impact of sodium bentonite. The analysis showed that the percentage of material remaining in the bottom pan was significantly lower in the treatment containing 2% sodium bentonite ($P < 0.05$). This reduction in residue indicates a more homogeneous particle size distribution. More importantly, the addition of 2% sodium bentonite significantly enhanced the pellet durability and increased the number of grooves on the pellet surface ($P < 0.05$). The increased grooves and improved durability suggest that the bentonite acts as an effective lubricant and binder during the compression phase, facilitating a more stable matrix within the pellet.

The inclusion of wheat bran presented a contrasting effect on feed quality. Across all sieve sizes tested, both the percentage of passage and the amount of residue in the bottom pan were significantly higher in pellets containing 25% wheat bran ($P < 0.05$) compared to the lower inclusion levels. This indicates that increasing the wheat bran content tends to disrupt the particle size uniformity, likely due to the different grinding characteristics and expansion properties of the bran. While the inclusion of wheat bran did not have a statistically significant effect on the overall pellet height or the durability index, it did significantly increase the number of grooves on the pellet surface ($P < 0.05$), suggesting a more fragile or irregular surface structure.

Conclusion

This study concludes that the optimization of pellet quality requires a multi-faceted approach involving both mechanical maintenance and formulation precision. The findings suggest that the use of new hammers during the grinding stage and the strategic inclusion of 2% sodium bentonite in the feed formulation are effective methods for improving the uniformity coefficient and the physical durability of pellets. While sodium bentonite serves as a beneficial additive for structural integrity, the level of wheat bran must be carefully managed, as higher concentrations (up to 25%) tend to diminish the quality and uniformity of the produced pellets. These results provide practical guidelines for feed mill operators to enhance product stability and reduce waste during transport and feeding.

Keywords: Feed processing hammer, Sodium bentonite, pellets, wheat bran

Author Contributions

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

Data Availability Statement

Not applicable

Ethical considerations

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

تأثیر شاخص‌های فرآوری بر کیفیت فیزیکی پلت و یکنواختی مخلوط کنسانتره دامی در مقیاس صنعتی

نفیسه رحمانیان شریف آباد^۱ و رضا وکیلی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کاشمر، کاشمر، ایران؛ <https://orcid.org/0009-0008-3941-6667>
۲- استاد تمام، گروه علوم دامی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کاشمر، کاشمر، ایران؛ کد ارکید: <http://orcid.org/0000-0002-0011-2219> (نویسنده مسئول)
rezavakili2010@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	در این پژوهش اثر برخی فرایندهای تولید خوراک بر ضریب یکنواختی کنسانتره و کیفیت پلت مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل استفاده از چکش نو و کهنه در فرآیند آسیاب، افزودن ۲ درصد بنتونیت سدیم و استفاده از سطوح ۱۵ و ۲۵ درصد سبوس گندم در فرمولاسیون جیره بودند. در پایان فرآیند تولید، شش نمونه پلت به صورت تصادفی انتخاب و جهت سنجش استحکام بررسی شدند. در نهایت داده‌ها با نرم‌افزار SAS، تجزیه و تحلیل گردید. نتایج نشان داد عبور از غربال با مش ۱۶ و ۲۵ کنسانتره پلت آسیاب شده نو نسبت به کهنه عبور کمتری داشت، اما معنی‌دار نبود ($P>0/05$). غربال با مش ۳۰ برای کنسانتره پلت آسیاب شده با چکش نو به طور معنی‌داری کمتر بود ($P<0/05$). همچنین درصد باقیمانده در سینی زیرین در تیمار حاوی بنتونیت سدیم به طور معنی‌داری کمتر بود ($P<0/05$). تمام غربال‌ها درصد عبور و مقدار باقیمانده در سینی زیرین در پلت حاوی ۲۵ درصد سبوس گندم به طور معنی‌داری بیشتر بود ($P<0/05$). افزودن ۲ درصد بنتونیت سدیم در پلت به طور معنی‌داری مقاومت پلت و شیارهای آن را افزایش داد ($P<0/05$). اگرچه استفاده از سبوس گندم در کنسانتره تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع و مقاومت پلت نداشت؛ اما به طور معنی‌داری سبب افزایش شیارها در سطح پلت شد ($P<0/05$). استفاده از چکش نو در هنگام آسیاب کردن و گنجاندن سطح ۲ درصد بنتونیت سدیم در فرمول سبب بهبود کیفیت پلت می‌شود؛ اما با افزایش سطح سبوس گندم از کیفیت پلت تولیدی کاسته شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۸ تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۵	
واژگان کلیدی: بنتونیت سدیم، پلت، چکش، سبوس گندم، فرآوری خوراک	

استناد: رحمانیان شریف آباد، نفیسه و وکیلی، رضا (۱۴۰۵). تأثیر شاخص‌های فرآوری بر کیفیت فیزیکی پلت و یکنواختی مخلوط کنسانتره دامی در مقیاس صنعتی. *مجله تحقیقات دام و طیور*، دوره ۸، شماره ۲، ۱۵۰-۱۳۸.
DOI: 10.22077/jlr.2026.11380.1061

مقدمه

در صنعت دامپروری تهیه خوراک پرهزینه‌ترین بخش را به خود اختصاص داده است. فرآوری خوراک بیشتر به هزینه خوراک می‌افزاید. با این حال، فرآوری خوراک فرصتی برای بهبود عملکرد دام و طیور فراهم می‌کند (Nolan et al., 2010). بنابراین، یک نقطه قابل اهمیت در تغذیه حیوانات اهلی، تهیه خوراک باکیفیت قبل از مصرف به منظور افزایش ارزش آن است. راهبردهای زیادی برای بهبود روش‌های فرآوری خوراک وجود دارد. با این حال، هزینه هر استراتژی باید با دقت سنجیده شود تا تأثیر منفی بر عملکرد و هزینه‌های پرورش نداشته باشند (Abdollahi et al., 2013; Svihus et al., 2025). امروزه کارخانه‌های خوراک دام و طیور برای بالا بردن ارزش غذایی مواد خوراکی مختلف و غلبه بر اثرات ضد تغذیه‌ای موجود در آن‌ها از روش‌های مختلف فرآوری نظیر آسیاب و پلت کردن استفاده می‌کنند (Abdollahi, 2011; Cheng et al., 2026). در طول سالیان، روش‌های مختلفی برای پلت کردن خوراک مطرح شده است. با افزایش هزینه‌های تأمین خوراک و با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در صنعت خوراک دام و طیور، به نظر می‌رسد استفاده از خوراک پلت اقتصادی باشد. به دنبال افزایش تقاضا برای خوراک پلت شده، تلاش تولیدکنندگان برای افزایش کیفیت و مقاومت پلت بیشتر شده است (Fahrenheit, 2012).

پلت سازی با هدف فشردن ذرات خوراک، به منظور تولید واحدی یکپارچه در اشکال مختلف صورت می‌گیرد که در این فرآیند با اعمال تدریجی فشار، ذرات خوراک به یکدیگر متصل شده و با کاهش حجم فضای خالی بین ذرات، چگالی ماده افزایش می‌یابد. پلت کردن جیره غذایی سبب متعادل شدن نسبت پروتئین به انرژی و تغییر غلظت مواد مغذی می‌شود که با تأثیر روی خوراک و اسیدهای آمینه مصرفی، افزایش وزن و بازدهی گوشت سینه را بهبود خواهد داد (Buchanan et al., 2010).

علاوه بر عملکرد کارخانه تولیدکننده پلت، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اقلام مورد استفاده در فرمولاسیون جیره بسیار اهمیت دارد. این خصوصیات شامل چگالی حجمی، اندازه ذرات، رطوبت، محتوای ترکیبات مغذی و خصوصیات شکستگی و خوردگی است. از آنجایی که تهیه اقلام خوراکی از بخش‌های پرهزینه تولید خوراک دام است گاهی استفاده از مواد اولیه غیراستاندارد باعث ایجاد خسارت قابل توجهی در خط تولید و ایجاد هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌شود. تمامی این عوامل به طور مستقیم بر کیفیت محصول نهایی، مصرف انرژی در تولید و عمر کاری دستگاه‌ها تأثیر می‌گذارند (Brewer & Ferket, 1989; Choupani et al., 2023; Svihus et al., 2024).

ممکن است راهبردهایی شامل تغییر در فرمولاسیون جیره، اندازه ذرات خوراک و تنظیم شاخص‌های کاندیشینگ برای بهبود کیفیت پلت بررسی شوند (Muramatsu et al., 2015). به همین دلیل هدف از انجام این مطالعه بررسی اثرات فرآیند مواد خوراکی بر ضریب یکنواختی کنسانتره و کیفیت پلت می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش

در ابتدای خط دو دستگاه آسیاب وجود دارد و به علت اینکه بخش عمده کنسانتره به دانه جو اختصاص داده شدند؛ یکی از آسیاب‌ها محدود به آسیاب کردن جو بود. آسیاب مورد استفاده از شرکت آسیاب مشهد، با قدرت موتور ۱۲۵ اسب بخار و توان تولید ۱۵ تن در ساعت بود. آسیاب مورد استفاده برای دانه جو دارای ۶۴ عدد چکش با وزن ۷۲ گرم و آسیاب مورد استفاده برای دانه ذرت و سایر اقلام خوراکی با ۳۶ چکش، وزن تقریبی ۶۵ گرم و ظرفیت تولید ۳۶ تن در ساعت بود. میکسر مورد استفاده افقی و مارپیچ بوده با قدرت موتور ۴ اسب بخار است. به منظور ذخیره‌سازی کنسانتره مش پس از فرآیند مخلوط کردن از یک مخزن ۵ تنی استفاده شد تا نوسانات احتمالی تولید میکسر کاهش یابد. انتقال دهنده بعد از مخزن ۵ تنی از نوع بالابر و پیاله‌ای بود. در مرحله ملاسور (افقی)، موتور ۵ اسب بخار) که از کاندیشینگ جدا است، ملاس با دمای ۷۵ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۶ بار روی مش پاشیده می‌شود. بعد از ملاسور فرآیند کاندیشینگ صورت می‌گیرد. ظرفیت کاندیشینگ ۲۰ تن در ساعت با فشار بخار ۶ بار و دمای ۷۵ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد است. با تزریق بخار در این مرحله، درصد رطوبت کنسانتره به حدود ۱۸ تا ۱۹ درصد می‌رسد.

جدول ۱- ترکیب کنسانتره مورد استفاده (درصد) در آزمایش اول (استفاده از چکش کهنه و نو)

Table 1- Concentrate formula used in the first experiment (using old and new hammers)

نمک (Salt)	کربنات کلسیم (Calcium carbonate)	مکمل (Supplement)	کنجاله سویا (Soybean meal)	کنجاله تخم پنبه (Cottonseed meal)	سبوس گندم (Wheat bran)	ذرت (Corn)	جو (Barley)	اقلام (Items)
1	1	0.5	6	15.5	23	10	43	جیره

بعد از اتمام کاندیشینگ، عملیات پلت سازی آغاز می گردد. قدرت موتور دستگاه ۱۵۰ اسب بخار می باشد. مدل دستگاه تسمه ای و دای به صورت حلقه ای با ظرفیت ۲۰ تن در ساعت است. در نهایت پلت وارد کولر شده و دما از ۱۸ به ۱۲ کاهش یافت. به منظور بررسی فرآوری مواد خوراکی سه آزمایش طراحی گردید. آزمایش اول شامل استفاده از چکش کهنه و نو در مرحله آسیاب کردن بود. شروع عمل آسیاب کردن با چکش کهنه انجام شد (جدول ۱). پس از آسیاب، ۳۰ نمونه جو به فاصله زمانی یک دقیقه برداشته شد. در ادامه خط تولید، پس از میکس کردن، قبل از پلت شدن و بعد از پلت شدن نیز ۳۰ نمونه ۴۰۰ گرمی با فاصله زمانی یک دقیقه گرفته شد و در نایلون سرپوشیده به آزمایشگاه منتقل شد. در مرحله بعد چکش های نو جایگزین کهنه شدند. مشابه با مرحله اول نمونه برداری صورت گرفت و جهت دانه بندی (با غربال های ۴، ۸، ۱۶، ۲۵ و ۳۰) به آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک منتقل گردید. در پایان دانه بندی وزن هر نمونه یادداشت و به درصد تبدیل شد. در آزمایش دوم، دو فرمول با سطوح صفر و ۲ درصد بنتونیت سدیم استفاده شد (جدول ۲). تولید با فرمول ۲ درصد بنتونیت آغاز شد. نمونه برداری (۳۰ نمونه ۴۰۰ گرمی با فاصله زمانی یک دقیقه) از آسیاب، پس از میکسر، قبل و بعد از پلت شدن صورت گرفت. آزمایش سوم شامل استفاده از دو سطح سبوس گندم (۱۵ و ۲۵ درصد) در کنسانتره بود که ارتفاع پلت از دو طرف به وسیله کولیس اندازه گیری شد و بقیه موارد مشابه با آزمایش دوم بود. جدول ۳ فرمول مورد استفاده در آزمایش سوم را گزارش کرده است. در آزمایش چهارم از دستگاه های مختلف به منظور بررسی ضریب یکنواختی کنسانتره در مراحل مختلف تولید استفاده شد. فرمول مورد استفاده در این مرحله در جدول ۱ فرمول آزمایش اول گزارش شده است. محل نمونه برداری شامل پس از میکسر، قبل از پلت شدن و محصول نهایی کنسانتره بود. نمونه های پایان خط به صورت پلت با دای ۱۰ و سایر نمونه ها به صورت مش تولید شدند. در پایان فرآیند تولید به صورت تصادفی ۶ نمونه پلت انتخاب و جهت سنجش استحکام (دستگاه یونیورسال مدل SANTAM) به آزمایشگاه متالوژی پارک علم و فناوری منتقل گردید. سرعت اندازه گیری هر نمونه ۱۰ میلی متر بود. از نمک به عنوان مارکر استفاده شد. فرمول کنسانتره این آزمایش در جدول ۱ گزارش شده است. برای محاسبه درصد عبور ذرات از هر غربال، مقدار باقیمانده پلت روی هر غربال تقسیم بر وزن اولیه شد و عدد به دست آمده در ۱۰۰ ضرب شد. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن و سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

جدول ۲- فرمول کنسانتره مورد استفاده (درصد) در آزمایش دوم (استفاده از بنتونیت سدیم)

Table 2- Concentrate formula used in the second experiment (using sodium bentonite)

نمک (Salt)	کربنات کلسیم (Calcium carbonate)	مکمل (Supplement)	بنتونیت سدیم (Sodium bentonite)	کنجاله سویا (Soybean meal)	کنجاله تخم پنبه (Cottonseed meal)	سبوس گندم (Wheat bran)	ذرت (Corn)	جو (Barley)	اقلام (Items)
1	1	1	0.5	6	15.5	23	10	43	جیره ۱ Ration1
1	1	1	2	6	15.5	23	10	43	جیره ۲ Ration2

جدول ۳- ترکیب کنسانتره مورد استفاده (درصد) در آزمایش اول (استفاده از سبوس گندم)
Table 3- Concentrate formula(%) used in the third experiment (using wheat bran levels)

اقلام (Items)	جو (Barley)	ذرت (Corn)	سبوس گندم (Wheat bran)	کنجاله تخم پنبه (Cottonseed meal)	کنجاله سویا (Soybean meal)	مکمل (Supplement)	کربنات کلسیم (Calcium carbonate)	نمک (Salt)
جیره ۱ Ration1	41	10	25	15	6	0.5	1.5	1
جیره ۲ Ration2	45	13	25	18	6	0.5	1.5	1

یافته‌های پژوهش

با توجه به جدول ۴، استفاده از چکش نو در مقایسه با چکش کهنه بر درصد عبور کنسانتره پلت از غربال‌های مختلف تأثیر متفاوتی داشت. درصد عبور از غربال‌های با مش ۴ و ۸ در تیمار حاوی چکش نو بیشتر از چکش کهنه بود، در حالی که درصد عبور از غربال‌های با مش ۱۶ و ۲۵ در تیمار چکش نو کمتر بود؛ با این حال، این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبودند ($P < 0.05$). در مقابل، درصد عبور از غربال با مش ۳۰ در کنسانتره پلت تولیدشده با چکش نو به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمار چکش کهنه بود ($P < 0.05$). همچنین، مقدار کنسانتره باقی‌مانده در سینی زیرین در تیمار چکش نو در مقایسه با چکش کهنه روند کاهشی داشت، اما این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P < 0.05$).

کاهش مقدار ذرات عبوری از غربال با مش ۳۰ در تیمار چکش نو می‌تواند نشان‌دهنده کاهش تولید ذرات بسیار ریز در اثر عملکرد مناسب‌تر چکش‌های نو باشد. وضعیت و کارایی چکش‌ها از عوامل مؤثر بر توزیع اندازه ذرات در فرآیند آسیاب هستند و تغییر در اندازه ذرات می‌تواند بر فرآیند پلت‌سازی و ویژگی‌های فیزیکی پلت اثرگذار باشد. آسیاب مناسب‌تر و تولید ذرات با اندازه یکنواخت‌تر می‌تواند سطح تماس بین ذرات را افزایش داده و شرایط مناسب‌تری برای تشکیل ساختار متراکم و پایدار پلت فراهم کند. در مطالعه حاضر، بنابراین، استفاده از چکش نو با کاهش معنی‌دار ذرات عبوری از غربال مش ۳۰ همراه بود و می‌تواند به بهبود توزیع اندازه ذرات و در نتیجه ویژگی‌های فیزیکی پلت کمک کرده باشد. این امر می‌تواند به این دلیل باشد که عمل آسیاب کردن با چکش نو سبب تولید اجزا همگن و یکنواخت در مواد اولیه پلت می‌شود و اتصال بین اجزا همگن در زمان متراکم سازی مواد بهتر از اجزا ناهمگن است (Vukmirović et al., 2016).

جدول ۴- تأثیر استفاده از چکش نو و کهنه بر درصد عبور کنسانتره از غربال‌ها و درصد باقیمانده بر روی سینی زیرین
Table 4- Effect of using new and old hammers on the percentage of concentrate passing through sieves and the percentage remaining on the bottom tray

اندازه توری Sieve size	کنسانتره پلت آسیاب شده با چکش کهنه (Old hammer milled pellet concentrate)	کنسانتره پلت آسیاب شده با چکش نو (New hammer milled pellet concentrate)	P value	SEM
توری با مش ۴ (Sieve with mesh 4)	95.11	47.97	0.06	0.83
توری با مش ۸ (Sieve with mesh 8)	0.02	0.23	0.14	0.36
توری با مش ۱۶ (Sieve with mesh 16)	1.57	0.44	0.32	0.13
توری با مش ۲۵ (Sieve with mesh 25)	0.63	0.44	0.32	0.13
توری با مش ۳۰ (Sieve with mesh 30)	0.16b	0.07a	0.04	0.06
سینی زیرین (Bottom tray)	0.46	0.31	0.31	0.1

^{abc}حروف غیر مشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

^{abc} Means with different superscripts in each row are significantly different ($P < 0.05$).

با توجه به نتایج جدول ۵ مشخص شد درصد عبور از غربال ۴ برای پلت حاوی ۲ درصد بنتونیت سدیم به طور معنی داری بیشتر از پلت بدون بنتونیت بود ($P < 0.05$). اما عبور از غربالهای ۸، ۱۶ و ۲۵ برای پلت حاوی ۲ درصد بنتونیت سدیم به طور معنی داری کمتر از پلت بدون بنتونیت بود ($P < 0.05$). عبور از غربال با مش ۳۰ در تیمار حاوی بنتونیت سدیم کمتر بود، اما معنی دار نبود ($P < 0.05$). همچنین درصد باقیمانده در سینی زیرین در تیمار حاوی بنتونیت سدیم به طور معنی داری کمتر بود ($P < 0.05$). بنتونیت نوعی پلت چسبان با ارزش غذایی کمی است و به عنوان افزودنی در خوراک دام و طیور بدون تأثیر منفی استفاده می شود (Pasha et al., 2008). بنتونیت با اجزای خوراک واکنش نمی دهد و به دلیل داشتن pH خنثی یا طبیعت ناچیز قلیایی آن به عنوان ماده بی اثری عمل می کند. همچنین، به دلیل داشتن خواص ویژه ای چون هیدراسیون، آماس، جذب آب و ویسکوزیته آن به یک ماده با ارزش با طیف استفاده گسترده ای در صنعت و سیستم های پرورش تبدیل شده است (Miazzi et al., 2005). بنتونیت رسی، کلونیدی است که می تواند آب زیادی جذب کند و با افزایش جذب آب به صورت ژله ای تبدیل می شود که ذرات غذایی را به هم می چسباند و به نظر می رسد سبب افزایش کیفیت پلت می شود. مشخص شده است که استفاده از ۱/۰ درصد بنتونیت در جیره های بر پایه ی ذرت و سویا سبب بهبود شاخص کیفیت و سختی پلت در دوره ی رشد جوجه گوشتی شده است. احتمالاً به دلیل خاصیت چسبندگی بنتونیت اقلام کنسانتره در تیمار حاوی ۲ درصد بنتونیت از قوام و تراکم بالاتری برخوردار بودند و با جابه جایی در بین غربال ها شکستگی و نرم شدگی کمتر اتفاق افتاده است و درصد باقیمانده در سینی زیرین نیز به همان نسبت کاهش یافت. تأثیر استفاده از سبوس گندم در کنسانتره پلت بر عبور از غربال و باقیمانده زیر سینی در جدول ۶ گزارش شده است. نتایج نشان داد در تمام غربال ها درصد عبور و مقدار باقیمانده در سینی زیری در پلت حاوی ۲۵ درصد سبوس گندم به طور معنی داری بیشتر بود ($P < 0.05$). مشخص شده است که فیبر، محلول یا نامحلول در آب است. باید انتظار داشت که بخش های فیبر محلول در آب ویسکوزیته را افزایش دهند و در نتیجه ممکن است بر خوراک تأثیر مثبت بگذارد. مواد چسبناک ممکن است ذرات بزرگتر را در جیره احاطه و نوعی عمل پوشش ایجاد کنند که باعث می شود همه چیز به هم بچسبد و در نتیجه پلت بادوام تر ایجاد شود (Zimonja et al., 2008; Buchanan & Moritz, 2010). از طرفی به علت خاصیت کشسانی در فیبر به خصوص فیبرهایی با قطعات بزرگتر، عمل باند شدن با ذرات به خوبی انجام نخواهد شد. به نظر می رسد که الیاف نامحلول در صورتی که به اندازه کافی کوچک آسیاب شوند یا به اندازه کافی آماده شوند تا خواص ساختاری الیاف را که منجر به مشکلات فیزیکی کیفیت پلت می شود از بین ببرند، ممکن است مفید باشند، اما اگر به اندازه کافی آسیاب نشده باشند ساختار سفت و سخت فیبر نامحلول می تواند بر خواص اتصال سایر اجزای خوراک تأثیر منفی بگذارد (Cheng et al., 2026).

جدول ۵- تأثیر استفاده از بنتونیت سدیم بر درصد عبور کنسانتره از غربال ها و درصد باقیمانده بر روی سینی زیرین
Table 5- Effect of using sodium bentonite on the percentage of concentrate passing through

اندازه توری Sieve size	کنسانتره پلت بدون بنتونیت سدیم (Pellet concentrate without sodium bentonite)	کنسانتره پلت با ۲٪ بنتونیت سدیم (Pellet concentrate with 2% sodium bentonite)	P value	SEM
توری با مش ۴ (Sieve with mesh 4)	96.91 ^a	57.96 ^b	0.004	0.11
توری با مش ۸ (Sieve with mesh 8)	2.90 ^a	1.50 ^b	0.02	0.39
توری با مش ۱۶ (Sieve with mesh 16)	2.26 ^a	0.93 ^b	0.005	0.30
توری با مش ۲۵ (Sieve with mesh 25)	1.16 ^a	0.42 ^b	0.02	0.21
توری با مش ۳۰ (Sieve with mesh 30)	0.57	0.26	0.06	0.11
سینی زیرین (Bottom tray)	1.11 ^a	0.27 ^b	0.02	0.23

^{abc}حروف غیر مشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

^{abc} Means with different superscripts in each row are significantly different ($P < 0.05$).

افزایش درصد عبور از غربال‌ها و مقدار باقیمانده در سینی زیرین، نشان‌دهنده افزایش تخریب پلت و کاهش کیفیت فیزیکی آن با افزایش سطح سبوس گندم در جیره است. این نتیجه برخلاف انتظار اولیه ما بود، زیرا تصور می‌شد فیبر موجود در سبوس بتواند از طریق درهم‌تنیدگی و تشکیل شبکه، به استحکام پلت کمک کند. اما به نظر می‌رسد خاصیت کشسانی و ساختار سخت فیبر نامحلول سبوس گندم، به‌ویژه زمانی که به اندازه کافی آسیاب نشده باشد، مانع از اتصال مناسب ذرات و تشکیل ماتریس یکپارچه در پلت می‌شود. فیبرهای نامحلول با قطعات بزرگ‌تر، به دلیل خاصیت کشسانی خود، عمل باند شدن با سایر ذرات خوراک را به خوبی انجام نمی‌دهند و در نتیجه پلت تولیدی از استحکام کمتری برخوردار می‌شود (Cheng et al., 2026). از سوی دیگر، فیبرهای محلول در آب مانند گلوکان‌ها، آرایینوکسیلان‌ها و پکتین‌ها می‌توانند با افزایش ویسکوزیته، به عنوان پرکننده عمل کرده و با پر کردن فضای خالی بین ذرات، تخلخل را کاهش دهند و در نتیجه به بهبود یکپارچگی ساختاری و دوام پلت کمک کنند (Thomas et al., 1998). اما سبوس گندم عمدتاً حاوی فیبر نامحلول است و بنابراین اثر مطلوب فیبرهای محلول را ندارد. تحقیقات نشان داده‌اند که هنگام استفاده از فیبر در ترکیبات پلت، استفاده از مواد شیمیایی مانند هیدروکسید سدیم و اکسید کلسیم به دلیل تجزیه ساختمان فیبر و کاهش خصوصیات کشسانی آن، به استحکام بالاتر پلت کمک می‌کند (Tolland, 1976; Beauchemin et al., 1995). بنابراین، به نظر می‌رسد سبوس گندم بدون فرآوری تکمیلی، در سطوح بالا کیفیت پلت را کاهش می‌دهد.

جدول ۶- تأثیر استفاده از سبوس گندم بر درصد عبور کنسانتره از غربال‌ها و درصد باقیمانده بر روی سینی زیرین
Table 6- Effect of using wheat bran on the percentage of concentrate passing through sieves and the percentage remaining on the bottom tray

اندازه توری Sieve size	کنسانتره پلت حاوی ۱۵٪ سبوس گندم (Pellet containing concentrate containing 15% wheat bran)	کنسانتره پلت حاوی ۲۵٪ سبوس گندم (Pellet containing concentrate containing 25% wheat bran)	P value	SEM
توری با مش ۴ (Sieve with mesh 4)	91.41 ^b	96.81 ^b	0.0001	0.53
توری با مش ۸ (Sieve with mesh 8)	1.47 ^b	3.88 ^a	0.0001	0.31
توری با مش ۱۶ (Sieve with mesh 16)	0.64 ^b	2.60 ^a	0.005	0.21
توری با مش ۲۵ (Sieve with mesh 25)	0.36 ^b	0.85 ^a	0.002	0.10
توری با مش ۳۰ (Sieve with mesh 30)	0.16 ^b	0.32 ^a	0.07	0.03
سینی زیرین (Bottom tray)	0.54 ^b	0.87 ^a	0.004	0.07

^{abc} حروف غیر مشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

^{abc} Means with different superscripts in each row are significantly different ($P < 0.05$).

با توجه به جدول ۷ مشخص شد استفاده از چکش نو و کهنه در هنگام آسیاب کردن تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع پلت و وجود یا عدم وجود شیار طولی و مورب نداشت. اما استفاده از چکش نو به طور معنی‌داری مقاومت پلت را افزایش و شیار عرضی را کاهش داد ($P < 0.05$). آسیاب چکشی شامل مجموعه‌ای از چکش‌ها است که با سرعت بالا در یک محفظه آسیاب حرکت می‌کنند و اندازه دانه‌ها را کاهش می‌دهد تا زمانی که ذرات قادر به عبور از صفحه‌ای با اندازه تعیین شده باشند. کارایی آسیاب چکشی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع دانه، میزان رطوبت دانه، اندازه صفحه، سطح صفحه نمایش، سرعت محیطی، عرض و طراحی چکش، تعداد چکش، فاصله نوک چکش به صفحه، نرخ تغذیه و قدرت تیغه‌ها است (Amerah et al., 2007). مشخص شده است که اندازه ذرات تأثیر زیادی بر کیفیت پلت دارند و هرچه ذرات یکنواخت‌تر آسیاب شده باشند کیفیت پلت بیشتر خواهد بود. معمولاً قطعاتی از پلت که به خوبی آسیاب شده‌اند دارای ماندگاری بیشتری هستند و رطوبت بیشتری نسبت به ذرات درشت جذب می‌کنند. از طرفی ذرات درشت‌تر سبب ایجاد شکاف در

پلت می‌شوند (Stevens, 1987; Yang et al., 2000). کاهش اندازه ذرات، سطح ذرات را نسبت به حجم آن افزایش می‌دهد و در نتیجه تعداد محل‌های تماس بین ذرات را افزایش می‌دهد (Muramatsu et al., 2015). مشخص شده است که ذرات آسیاب شده بزرگتر از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میکرومتر ممکن است پلت با نقاط شکستگی بیشتری ایجاد کنند (Acedo-Rico et al., 2010). در تولید خوراک پلت طیور توصیه می‌شود اندازه ذرات تقریباً ۶۰۰ تا ۹۰۰ میکرون باشد تا به بالاترین شاخص دوام برسد (da Silva et al., 2018). از سوی دیگر، مساحت سطح بزرگتر با اندازه ذرات کم، انتقال گرما و رطوبت را به داخل مخلوط آسان‌تر می‌کند (Moritz et al., 2002). در مطالعه حاضر نیز استفاده از چکش نو به دلیل انجام بهتر عمل آسیاب کردن سبب مقاومت بیشتر پلت شد و میزان شیارها را در پلت کاهش داد.

جدول ۷- اثر استفاده از چکش نو و کهنه در فرآیند آسیاب بر ارتفاع، مقاومت و وجود یا عدم وجود شیار در سطح پلت
Table 7- Effect of using new and old hammers in the grinding process on height, durability, and presence or absence of grooves on the pellet surface

SEM	P value	چکش نو (New hammer)	چکش کهنه (Old hammer)	
0.17	0.35	17.25	17.08	ارتفاع پلت (m) (Pellet height)
53.78	0.0001	3032a	2055b	مقاومت پلت (Kg/m ³) (Pellet resistance)
0.02	0.32	0.21	0.25	وجود یا عدم وجود شیار طولی (Presence or absence of longitudinal groove)
0.02	0.02	0.45b	0.53a	وجود یا عدم وجود شیار عرضی (The presence or absence of a transverse groove)
0.02	0.08	0.21	0.26	وجود یا عدم وجود شیار مورب (Presence or absence of oblique groove)

^{abc}حروف غیر مشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

^{abc} Means with different superscripts in each row are significantly different ($P < 0.05$).

با توجه به جدول ۸ مشخص شد استفاده از ۲ درصد بنتونیت سدیم در پلت به طور معنی‌داری مقاومت پلت، شیارهای طولی، و مورب را افزایش می‌دهد ($P < 0.05$). همچنین، سبب افزایش ارتفاع پلت شد؛ اما این افزایش معنی‌دار نبود. بنتونیت سدیم یک خاک رس آلومینوسیلیکات سه لایه است که نسبت به سایر خاک‌های آلومینوسیلیکاتی آب بیشتری جذب می‌کند. مشخص شده است گنجاندن ۲۰ گرم بر کیلوگرم بنتونیت سدیم در خوراک سبب افزایش کیفیت و دوام پلت شده است (Pour et al., 2021). همچنین؛ در مطالعات دیگری هنگام کاندیشنینگ خوراک حاوی ۱۵ گرم بر کیلوگرم بنتونیت سدیم به مدت ۲ دقیقه، افزایش دوام و سختی پلت، کاهش مصرف انرژی الکتریکی در فرآیند پلت‌سازی و حفظ مواد مغذی مشاهده شد (Attar et al., 2017). در مطالعه دیگری نیز مشخص شد که کیفیت فیزیکی جیره‌های پلت شده با گنجاندن ۱۵ گرم بر کیلوگرم بنتونیت و مدت زمان کاندیشنینگ به مدت ۲ دقیقه افزایش یافت (Pour et al., 2021). گزارش شده است که ۱۰ و ۲۰ گرم به ازای هر کیلوگرم بنتونیت سدیم در جیره مبتنی بر ذرت شاخص دوام پلت را در جیره‌های آغازین و پایانی بهبود بخشید (Moradi et al., 2018). در مطالعه دیگری، افزودن بنتونیت سدیم یا کلسیم به جیره پلت شده بوقلمون باعث بهبود مقاومت پلت شد (Almquist et al., 1967). در مطالعه حاضر نیز تیمار حاوی ۲ درصد بنتونیت سدیم سبب افزایش مقاومت پلت و کاهش شیارهای عرضی شد.

جدول ۸- تأثیر استفاده از بنتونیت سدیم بر ارتفاع، مقاومت و وجود یا عدم وجود شیار در سطح پلت

Table 8- Effect of using sodium bentonite on height, durability, and presence or absence of grooves on the pellet surface

SEM	P value	۲٪ بنتونیت سدیم (2% sodium bentonite)	بدون بنتونیت سدیم (Without sodium bentonite)	
4.69	0.35	16.75	12.88	ارتفاع پلت (m) (Pellet height)
73.21	0.0001	3944 ^a	19125 ^b	مقاومت پلت (Kg/m ³) (Pellet resistance)
0.023	0.0001	0.37 ^a	0.21 ^b	وجود یا عدم وجود شیار طولی (Presence or absence of longitudinal groove)
0.024	0.02	0.38 ^b	0.45 ^a	وجود یا عدم وجود شیار عرضی (The presence or absence of a transverse groove)
0.021	0.004	0.36 ^a	0.24 ^b	وجود یا عدم وجود شیار مورب (Presence or absence of oblique groove)

^{abc}حروف غیر مشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

^{abc} Means with different superscripts in each row are significantly different ($P < 0.05$).

با توجه به نتایج گزارش شده در جدول ۹ مشخص شد استفاده از سبوس گندم در کنسانتره تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع و مقاومت پلت ندارد؛ اما به طور معنی‌داری سبب افزایش شیارهای طولی، عرضی و مورب در سطح پلت شد ($P < 0.05$). استفاده از فرمولاسیون کم هزینه برای فرموله کردن جیره منجر به استفاده از سطوح مختلف اقلام خوراکی متنوع مانند سبوس شده است. هرچند نیازهای تغذیه‌ای برآورد شوند؛ اما این امر ممکن است منجر به تغییر در کیفیت فیزیکی خوراک پس از پلت‌سازی شود. علاوه بر این، برخی از شاخص‌های پلت‌سازی مانند تخلخل در حین پلت‌سازی تغییر خواهند کرد (Svihus et al., 2024).

جدول ۹- تأثیر استفاده از سبوس گندم بر ارتفاع، مقاومت و وجود یا عدم وجود شیار در سطح پلت

Table 9- Effect of using wheat bran on height, durability, and presence or absence of grooves on the pellet surface

SEM	P value	۲۵٪ سبوس گندم (25% wheat bran)	۱۵٪ سبوس گندم (15% wheat bran)	
0.19	0.13	17.10	17.51	ارتفاع پلت (m) (Pellet height)
95.38	0.17	1256	1454	مقاومت پلت (Kg/m ³) (Pellet resistance)
0.024	0.008	0.33 ^a	0.21 ^b	وجود یا عدم وجود شیار طولی (Presence or absence of longitudinal groove)
0.029	0.0013	0.45 ^a	0.31 ^b	وجود یا عدم وجود شیار عرضی (The presence or absence of a transverse groove)
0.018	0.0001	0.29 ^a	0.14 ^b	وجود یا عدم وجود شیار مورب (Presence or absence of oblique groove)

^{abc}حروف غیر مشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

^{abc} Means with different superscripts in each row are significantly different ($P < 0.05$).

با توجه به خاصیت محلول و نامحلول در آب فیبرها، تأثیر منابع مختلف آن‌ها بر خصوصیات پلت متفاوت است. فیبرهای محلول در آب مانند گلوکان‌ها، آرابینوکیسلان‌ها و پکتین‌ها به شدت ویسکوزیته را افزایش می‌دهند که ممکن است بر یکپارچگی ساختاری خوراک تأثیر بگذارد. مواد با ویسکوزیته بالا ممکن است به عنوان پرکننده در خوراک عمل کنند. مواد چسبناک ذرات درشت‌تری را

در خود جای می‌دهند و در نتیجه تخلخل را در خوراک کاهش می‌دهند؛ در نتیجه یکپارچگی ساختاری، دوام و سختی پلت بیشتر می‌شود (Thomas et al., 1998). تأثیر الیاف گیاهی نامحلول در آب ممکن است دو برابر باشد. الیاف گیاهی ممکن است در فرآیند پلت‌سازی مفید باشند؛ زیرا فرصت درهم تنیدگی و تا شدن بین ذرات یا رشته‌های مختلف الیاف را دارند (Rumpf, 1958). در مطالعه حاضر کاهش مقاومت و ماندگاری پلت و افزایش شیارها طولی، عرضی و مورب در پلت حاوی ۲۵ درصد سبوس گندم نشان دهنده تخریب و عدم مقاومت پلت هنگام استفاده از سطوح بالاتر فیبر است که با نتایج جدول ۶ مطابقت دارد.

جدول ۱۰ تغییرات درصد نمک در کنسانتره پلت شده در مراحل مختلف را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد ضریب تغییر نمک در پلت پس از مخلوط شدن میکسر نسبت به قبل از دستگاه پلت و پایان خط تولید بیشتر بود. قبل از ورود مواد اولیه به داخل دستگاه ضریب تغییرات درصد نمک نسبت به مواد پس از میکسر کاهش یافت که به دلیل تأثیر فرآیندهای انجام شده در طی مرحله کاندیشنینگ قبل از عمل پلت کردن است. مشخص شده است که آب اضافه شده به صورت بخار در مرحله کاندیشنینگ به اتصال ذرات پلت کمک می‌کند و ماندگاری پلت را حدود ۱ تا ۲ درصد افزایش می‌دهد. همچنین؛ در حین کاندیشنینگ، بخار ساختار نشاسته را می‌شکند و در نتیجه ژلاتینه شدن آن و همچنین ساختار سوم پروتئین را تغییر می‌دهد. ژلاتینه شدن نشاسته امکان اتصال بین ذرات خوراک را فراهم می‌کند و در نتیجه برای تولید پلت‌های بادوام مهم است (Muramatsu et al., 2015). در مطالعه حاضر پلت تولید شده در پایان خط تولید ضریب تغییرات درصد نمک کمتری نسبت به دو مرحله دیگر داشت که می‌تواند به دلیل وجود دما و فشار در حین انجام پلت باشد که سبب همگن شدن بهتر مواد مغذی و در نتیجه کاهش ضریب تغییرات می‌شود (Pfof et al., 1974).

جدول ۱۰- ضریب تغییرات درصد نمک در کنسانتره پلت شده

Table 10 – Coefficient of variation of salt percentage in pelleted concentrate

مرحله تولید (Production stage)	ضریب تغییرات درصد نمک (Coefficient of variation of salt percentage)
پس از دستگاه میکسر (After mixer)	18.03
قبل از دستگاه پلت (Before pellet mill)	13.61
پلت پایان خط تولید (Final product pellet)	12.05

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد نوع و طول عمر آسیاب چکشی بر اندازه ذرات و ماندگاری پلت موثر است. با افزایش درصد بنتونیت سدیم، ماندگاری و مقاومت پلت افزایش و تعداد شیارهای عرضی کاهش می‌یابد و با افزودن سبوس گندم به پلت ماندگاری و مقاومت پلت کاهش و شیارهای طولی، عرضی و مورب در سطوح بالاتر آن افزایش می‌یابد. در این آزمایش، ضریب یکنواختی کنسانتر تولیدی به وسیله میکسر موجود در کارخانه مطلوب نبود؛ اما ضریب یکنواختی پس از دستگاه میکسر تا انتهای خط تولید افزایش یافت به طوری که در پایان خط، پلت تولیدی از ضریب یکنواختی مطلوبی برخوردار بود.

سپاسگزاری

از همه عزیزانی که ما را در انجام این طرح یاری رساندند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

- Abdollahi, M. R., Ravindran, V., & Svihus, B. (2013). Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Animal Feed Science and Technology*, 179(1–4), 1–23.
- Abdollahi, M. R. (2011). *Influence of feed processing on the performance, nutrient utilization and gut development of poultry and feed quality* [Doctoral thesis, Massey University].
- Acedo-Rico, J., Méndez, J., & Santomá, G. (2010). Feed manufacturing. In C. De Blas & J. Wiseman (Eds.), *The nutrition of the rabbit* (pp. 200–221). CAB Publishing.

- Almquist, H. J., Christensen, H. L., & Maurer, S. (1967). The effect of bentonites on nutrient retention turkeys. *Feedstuffs*, 39, 54.
- Amerah, A. M., Ravindran, V., Lentle, R. G., & Thomas, D. G. (2007). Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. *World's Poultry Science Journal*, 63(3), 439–455.
- Attar, A., Kermanshahi, H., & Golian, A. (2017). Effects of conditioning time and sodium bentonite on pellet quality, growth performance, intestinal morphology and nutrient retention in finisher broilers. *British Poultry Science*, 58(2), 190–197.
- Attar, A., Kermanshahi, H., Golian, A., & Abbasipour, A. (2016). The effect of steam or dry conditioning and sodium bentonite levels on pellet quality, performance and digestive tract development of growing broilers fed corn-soy based diet. *Proceedings of the 5th Mediterranean Poultry Summit of the WPSA*.
- Attar, A., Kermanshahi, H., Golian, A., Abbasipour, A. R., & Daneshmand, A. (2019). Conditioning time and sodium bentonite affect pellet quality, growth performance, nutrient retention and intestinal morphology of growing broiler chickens. *British Poultry Science*, 60(6), 777–783.
- Beauchemin, K. A., Rode, L. M., & Sewalt, V. J. H. (1995). Fibrolytic enzymes increase fiber digestibility and growth rate of steers fed dry forages. *Canadian Journal of Animal Science*, 75(4), 641–644.
- Behnke, K. C. (2007). Feed manufacturing considerations for using DDGS in poultry and livestock diets. *Proceedings of the Mid-Atlantic Nutrition Conference*.
- Brewer, D. E., & Ferket, P. R. (1989). The effect of pellet integrity and lignosulfonate on performance of growing toms. *Poultry Science*, 68 (Suppl. 1), 18.
- Buchanan, N. P., Lilly, K. G. S., Gehring, C. K., & Moritz, J. S. (2010). The effects of altering diet formulation and manufacturing technique on pellet quality. *Journal of Applied Poultry Research*, 19 (2), 112–120.
- Cheng, K., Hou, C., Zhang, X., Zhao, H., & Wang, J. (2026). Effect of different pellet lengths and diameters on growth performance and intestinal function of young pigeons. *Poultry Science*, 105 (1), 106794.
- Choopani, H.R., Mojtahedi, M., Hosseini-Vashan, S.J. & Ghiasi, S.E. (2023). Effect of different levels of pellet binder and poultry by-product meal on performance, carcass quality and serum parameters of broiler chicken. *Iranian Journal of Animal Science Reserche* 14 (4), 549-563.
- da Silva, P. G., Oliveira, L. M. S., de Oliveira, N. R., de Moura Júnior, F. A., Silva, M. R. S., Cordeiro, D. A., & Dos Santos, F. R. (2018). Effects of processing, particle size and moisturizing of sorghum-based feeds on pellet quality and broiler production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31 (1), 98–105.
- Fahrenholz, A. C. (2012). Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability [Doctoral thesis, Kansas State University].
- Mazroei, A., Hosseini-vashan, S. J., Mojtahedi, M. & Naeimipour Yonesi, H. (2026). Effects of Time and Temperature Conditioner on Feed Pellet Quality and Growth Performance, Blood Indices and Jejunal Morphology of Broilers. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 18(1), 57–73. <https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.90881.1223>.
- Miazzo, R., Peralta, M. F., Magnoli, C., Salvano, M., Ferreo, S., Chiacchiera, S. M., Carvalho, E. C. Q., Rosa, A., & Dalcerol, A. (2005). Efficacy of sodium bentonite as a detoxifier of broiler feed contaminated with aflatoxin and fumonision. *Poultry Science*, 84 (1), 1–8.
- Moradi, A., Moradi, S., & Abdollahi, M. R. (2018). Influence of feed ingredients with pellet-binding properties on physical pellet quality, growth performance, carcass characteristics and nutrient retention in broiler chickens. *Animal Production Science*, 59 (1), 73–81.
- Moritz, J. S., Wilson, K. J., Cramer, K. R., Beyer, R. S., Mckinney, L. J., Cavalcanti, W. B., & Mo, X. (2002). Effect of formulation density, moisture and surfactant on feed manufacturing, pellet quality and broiler performance. *Journal of Applied Poultry Research*, 11 (2), 155–163.
- Muramatsu, K., Massuquetto, A., Dahlke, F., & Maiorka, A. (2015). Factors that affect pellet quality: A review. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 9 (4), 717–722.
- Nolan, A., McDonnell, K., Devlin, G. J., Carroll, J. P., & Finnan, J. (2010). Economic analysis of manufacturing costs of pellet production in the Republic of Ireland using non-woody biomass. *The Open Renewable Energy Journal*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.2174/1876387101003010001>

- Pasha, T. N., Mahmood, A., Khattak, F. M., Jabbar, M. A., & Khan, A. D. (2008). The effect of feed supplemented with different sodium bentonite treatments on broiler performance. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 32 (4), 245–248.
- Pfost, H. B., Duncan, M. S., & Waller, R. A. (1974). Determining the value of feed uniformity. *Feedstuffs*, 46, 41–50.
- Pour, A. R. A., Kermanshahi, H., & Golian, A. (2021). Effects of conditioning time and activated sodium bentonite on pellet quality, performance, intestinal morphology and nutrients retention in growing broilers fed wheat-soybean meal diets. *Animal Feed Science and Technology*, 277, 114955.
- Rumpf, H. (1958). Grundlagen und methoden des granulierens. *Chemie-Ingenieur-Technik*, 30 (3), 144–158.
- Stevens, C. A. (1987). Starch gelatinization and the influence of particle size, steam pressure and die speed on the pelleting process [Doctoral thesis, Kansas State University].
- Svihus, B., Abdollahi, M. R., Wamsley, K. G. S., Pacheco, W., & Hetland, H. (2025). Structural architecture of pelleted broiler diets: A comprehensive narrative review of key factors for an optimized macro- and microstructure. *Poultry Science*, 104 (1), 105478.
- Svihus, B., Storkås, C. G., Neteland, M. K., Reierstad, S. E. O., Dhakal, S., & Hetland, H. (2024). Effect of grinding and pellet dimensions on performance, digestive tract functionality and feeding behavior of broiler chickens fed diets based on wheat and maize. *Journal of Applied Poultry Research*, 33 (1), 100413.
- Thomas, M., Van Vliet, T., & Van der Poel, A. F. B. (1998). Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. *Animal Feed Science and Technology*, 70 (1–2), 59–78.
- Tolland, P. C. (1976). The digestibility of wheat, barley or oat grain fed either whole or rolled at restricted levels with hay to steers. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 16 (78), 71–75.
- Van Vliet, H. (1981). Pelletieren, matrizenform und zerkrllhmeln. *Mühle Mischfuttermitteltechnik*, 118, 117–119.
- Vukmirović, Đ. M., Lević, J. D., Fišteš, A. Z., Čolović, R. R., Brlek, T. I., Čolović, D. S., & Đuragić, O. M. (2016). Influence of grinding method and grinding intensity of corn on mill energy consumption and pellet quality. *Hemijaska Industrija*, 70 (1), 67–72.
- Yang, W. Z., Beauchemin, K. A., & Rode, L. M. (2000). Effects of grain processing, forage to concentrate ratio and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84 (10), 2203–2216.
- Zimonja, O., Hetland, H., Lazarevic, N., Edvardsen, D. H., & Svihus, B. (2008). Effects of fibre content in pelleted wheat and oat diets on technical pellet quality and nutritional value for broiler chickens. *Canadian Journal of Animal Science*, 88 (4), 613–622.