Effects of Starter Concentrate Physical Form on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Parameters, Skeletal Indices, and Feeding Behavior in Suckling Simmental Calves

Mostafa Hosseinabadi [1*], Mehdi Piyadehkouhsar[2], Taghi Ghoorchi[3], Kosar Ghezelsefli [4], Abdolhakim Toghdory [5]

1. Department of Animal and Poultry nutrition, Animal Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Mostafa_hosseinabadi@yahoo.com,
2. Department of Animal and Poultry nutrition, Animal Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Mehdi.piyad1990@yahoo.com
3. Department of Animal and Poultry nutrition, Animal Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Ghoorchi@gau.ac.ir
4. Department of Animal and Poultry nutrition, Animal Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: kosar.ghezelsofla_s02@gau.ac.ir,
5. Department of Animal and Poultry nutrition, Animal Science Faculty, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Toghdory@gau.ac.ir

Introduction: The physical form of calf starter feed is an important nutritional factor influencing feed intake, rumen development, nutrient utilization, and growth performance in young calves. Processing methods such as pelleting may improve starch digestibility and reduce nutrient losses; however, excessive processing can adversely affect rumen fermentation and increase the risk of digestive disorders. Despite extensive research, the optimal physical form of starter feed for dairy calves remains controversial. Therefore, this study evaluated the effects of different physical forms of starter feed on growth performance, nutrient digestibility, blood metabolites, immune responses, skeletal growth.

Materials and Methods: In this study, eighteen male Simmental calves, with a mean age of 10 days at the beginning of the experimental period and an initial body weight of 41.85 ± 0.92 kg, were used. The calves were randomly assigned to three dietary treatments in a completely randomized design, with six calves per treatment: (1) a fully textured starter concentrate (control), (2) a combination of pelleted and textured starter concentrate, and (3) a fully pelleted starter concentrate. The experimental period lasted 49 days, including a 7-day adaptation period. To eliminate the confounding effects of dietary chemical composition, the starter concentrate formulations were identical across all treatments, with physical form being the only difference among treatments.Calves were weighed at the beginning and end of the experimental period to calculate total body weight gain and average daily gain (ADG). To determine the apparent digestibility of dietary nutrients, feed and fecal samples were collected during the final 5 days of the experiment. Acid-insoluble ash was used as an internal marker to estimate apparent nutrient digestibility.The data were statistically analyzed using a completely randomized design with three treatments and six replicates per treatment, using SAS software (version 9.4; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Data were analyzed using the General Linear Model (GLM) procedure. Treatment means were compared using Duncan's multiple range test, with statistical significance declared at $P<0.05$.

Results and Discussion: The physical form of the starter feed had no significant effect on dry matter intake, final body weight, average daily gain, or feed conversion ratio ($P > 0.05$). Likewise, the apparent digestibility of dry matter, organic matter, neutral detergent fiber, and crude fat was not affected by dietary treatments ($P > 0.05$). Blood biochemical indices, including glucose, blood urea nitrogen, creatinine, cholesterol, triglycerides, total protein, albumin, and globulin, were similar among treatments ($P > 0.05$). Hematological variables,

immune responses, skeletal growth measurements, and rumination behavior were also not significantly influenced by the physical form of the starter feed (P > 0.05).

Conclusion: Based on the findings of the present study, no significant differences were observed among the physical forms of starter feed in the evaluated parameters. However, these findings alone do not establish complete equivalence among treatments or rule out potential benefits of pelleted starter feed. Furthermore, because an economic evaluation was not conducted in the present study, no definitive conclusions can be drawn regarding the economic feasibility of using pelleted starter feed. Therefore, further studies focusing on feed processing and production costs, cost per unit of body weight gain, and overall profitability are warranted to determine the most appropriate physical form of starter feed.

Keywords: Blood parameters, Digestibility, Performance, Physical form of feed.

تأثیر شکل فیزیکی کنسانتره آغازین بر عملکرد رشد، قابلیت هضم مواد مغذی، فراسنجه‌های خونی، شاخص‌های اسکلتی و رفتار تغذیه‌ای گوساله‌های شیرخوار سیمنتال

مصطفی حسین‌آبادی[۱*]، مهدی پیاده‌کوهسار[۲] ، تقی قورچی[۳]، کوثر قزلسفلی [۴]، عبدالحکیم توغدری[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۲
تاریخ بازنگری:۱۴۰۵/۰۷/۰۶
تاریخ پذیرش:۱۴۰۵/۰۷/۱۶

۱. گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Mostafa_hosseinabadi@yahoo.com
۲. گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Mehdi.piyad1990@yahoo.com
۳. گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Ghoorchi@gau.ac.ir
۴- گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: kosar.ghezelsofla_s02@gau.ac.ir
۵- گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Toghdory@gau.ac.ir

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر شکل فیزیکی کنسانتره آغازین بر عملکرد رشد، قابلیت هضم مواد مغذی، فراسنجه‌های خونی، پاسخ‌های ایمنی، شاخص‌های اسکلتی و رفتار نشخوار در گوساله‌های شیرخوار نژاد سیمنتال انجام شد. در این آزمایش، ۱۸ رأس گوساله شیرخوار ۱۰ روزه با میانگین وزن ۰/۹۲ ± ۴۱/۸۵ کیلوگرم در قالب طرح کاملاً تصادفی به سه تیمار شامل کنسانتره کاملاً آجیلی، مخلوط مساوی کنسانتره آجیلی و پلت، و کنسانتره کاملاً پلت‌شده به‌مدت ۴۹ روز اختصاص یافتند. نتایج نشان داد که شکل فیزیکی کنسانتره آغازین تأثیر معنی‌داری بر عملکرد رشد، قابلیت هضم مواد مغذی، شاخص‌های اسکلتی و رفتار تغذیه‌ای و نشخوار نداشت. همچنین، بین تیمارها از نظر فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون شامل گلوکز، نیتروژن اوره‌ای، کراتینین، کلسترول، تری‌گلیسرید، پروتئین کل، آلبومین و گلوبولین و نیز شاخص‌های هماتولوژیک، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). در مجموع، در شرایط این مطالعه، تغییر شکل فیزیکی کنسانتره آغازین از آجیلی به پلت‌شده یا استفاده از ترکیب این دو شکل، اثر معنی‌داری بر عملکرد رشد، قابلیت هضم مواد مغذی، فراسنجه‌های خونی، شاخص‌های اسکلتی یا رفتار تغذیه‌ای و نشخوار گوساله‌های شیرخوار نداشت. بنابراین، بر اساس نتایج این

آزمایش، هیچ‌یک از شکل‌های فیزیکی مورد بررسی برتری معنی‌داری نسبت به سایر شکل‌ها از نظر شاخص‌های ارزیابی‌شده نشان نداد.

واژه‌های کلیدی: شکل فیزیکی خوراک، عملکرد، فراسنجه‌های خونی، گوارش‌پذیری

مقدمه

دستگاه گوارش نشخوارکنندگان به‌دلیل برخورداری از اکوسیستم میکروبی پیچیده، امکان استفاده از منابع خوراکی متنوع را فراهم کرده و نقش مهمی در تأمین مواد غذایی مورد نیاز انسان ایفا می‌کند. ازاین‌رو، استفاده از جیره‌های مناسب که علاوه بر تأمین نیازهای حیوان، شرایط مطلوبی برای فعالیت میکروارگانیسم‌های دستگاه گوارش فراهم کنند، از اصول اساسی مدیریت تغذیه دام محسوب می‌شود (Kazemi & Valizadeh, 2026). در این راستا، روش‌های فرآوری خوراک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی آن می‌تواند بر مصرف خوراک، استفاده از مواد مغذی و عملکرد حیوان اثرگذار باشد(Wilkins & Jones, 2000). خوراک کاملاً مخلوط (TMR)[1] شامل تمامی اجزای جیره است که پس از اختلاط کامل در اختیار دام قرار می‌گیرد. با وجود کاهش انتخاب‌گری دام در این روش، جداسازی ذرات ریز و غنی از مواد مغذی ممکن است موجب عدم تعادل جیره مصرفی شود. بنابراین، فرآوری خوراک به شکل‌هایی مانند پلت یا بلوک می‌تواند با کاهش جداسازی اجزا، یکنواختی مصرف خوراک را بهبود بخشد. (Munasik *et al.*, 2013; Dus *et al.*, 2004).

مدیریت تغذیه گوساله‌های شیری، به‌خصوص شکل فیزیکی جیره آغازین، احتمال دارد منجر به‌تفاوت‌های زیادی در عملکرد رشد و بازده مصرف خوراک شود (Terré *et al.*, 2015). خوراک آغازین گوساله‌ها علاوه بر خوش‌طعم بودن، باید از موادی با کیفیت بالا و دارای پروتئین کافی، انرژی، الیاف، ویتامین‌ها و مواد معدنی تولید شود و همچنین بافت مناسبی نیز داشته باشد. شکل فیزیکی خوراک آغازین در حالت بهینه یک موضوع مورد بحث در پژوهش‌های گذشته و اخیر بوده است (Omidi-Mirzaei *et al.*, 2018). از تاثیرات اصلی خرد و آردی شدن خوراک، افزایش مصرف اختیاری خوراک می‌باشد که منجر به‌کاهش قابلیت هضم مواد الیافی شده، همچنین کاهش قابلیت هضم خوراک‌های نرم شده به‌دلیل افزایش نرخ عبور از شکمبه می‌باشد. بنابراین استفاده از دانه آرد شده در جیره حیوانات باعث کاهش ترشح بزاق و درنهایت نامساعد شدن محیط شکمبه به دلیل اسیدی شدن آن شده و لذا عمل هضم مواد علوفه‌ای دچار اختلال می‌شود، درنهایت اسیدهای لازم برای سنتز چربی شیر به‌اندازه کافی تولید نشده و چربی شیر کاهش می‌یابد (Dus *et al.*, 2004).

در گوساله‌های شیرخوار، گذر موفق از مرحله تغذیه با شیر به نشخوارکنندگی، به رشد و تکامل ساختاری و عملکردی شکمبه وابسته است. در بدو تولد، شکمبه هنوز تکامل نیافته و مصرف خوراک آغازین مهم‌ترین محرک توسعه این اندام به شمار می‌رود. تخمیر کربوهیدرات‌های خوراک آغازین موجب تولید اسیدهای چرب فرار، به‌ویژه بوتیرات و پروپیونات، می‌شود که با تحریک تکثیر سلول‌های اپیتلیال، افزایش طول و عرض پرزهای شکمبه و توسعه ظرفیت جذب، نقش اساسی در بلوغ عملکردی شکمبه دارن (Baldwin *et al.*, 2004; Khan *et al.*, 2016; Lesmeister *et al.*, 2004)، علاوه بر ترکیب شیمیایی جیره، شکل فیزیکی خوراک آغازین نیز بر میزان مصرف خوراک، الگوی تخمیر شکمبه و رشد آناتومیکی شکمبه اثرگذار است. گزارش شده است که جیره‌های کاملاً آسیاب‌شده با ذرات بسیار ریز، موجب کوتاه‌تر شدن پرزهای شکمبه، کاهش سطح جذب و افزایش خطر پاراکراتوز می‌شوند، در حالی که استفاده از استارترهای پلت یا بافت‌دار شرایط مناسب‌تری را برای رشد طبیعی شکمبه و انتقال موفق گوساله از دوره شیرخوارگی به نشخوارکنندگی فراهم می‌کند (Khan *et al.*, 2016)، افزایش ژلاتینه شدن گرانول‌های نشاسته می‌تواند جزو دلایل نتایج مثبت حاصل از پلت کردن

[1] Total Mixed Ration (TMR)

باشد (Church, 1988). درنتیجه، گرمای ایجادشده طی فرآیند پلت‌سازی می‌تواند موجب تغییراتی در ویژگی‌های ساختاری و فیزیکی مواد نشاسته‌ای (کربوهیدرات‌های غیرالیافی) شود و از طریق بهبود دسترسی آنزیم‌های گوارشی به اجزای خوراک، بر قابلیت هضم مواد مغذی تأثیر بگذارد. بااین‌حال، میزان ژلاتینه‌شدن نشاسته در طی فرآیند پلت‌سازی، که عمدتاً در حضور بخار ایجاد می‌شود، معمولاً حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد گزارش شده است و به‌تنهایی نمی‌تواند عامل اصلی تغییرات مشاهده‌شده در قابلیت هضم یا کیفیت فیزیکی خوراک باشد. بنابراین، بهبودهای حاصل از پلت‌سازی را می‌توان بیشتر به‌مجموعه‌ای از تغییرات فیزیکی و ساختاری خوراک، ازجمله افزایش تراکم، یکنواختی ذرات و تغییر در دسترسی‌پذیری اجزای مغذی، نسبت داد (Svihus *et al.*, 2005).

پلت‌های حاوی غلات آسیاب‌شده می‌توانند هضم نشاسته را افزایش داده و دفع نشاسته از مدفوع را در نشخوارکنندگان کاهش دهند. با این‌حال، آسیاب نامناسب می‌تواند خطر اسیدوز را افزایش دهد. پلت کردن، دسترسی میکروبی به‌مواد قابل تخمیر را به‌تأخیر می‌اندازد که بسته به‌اندازه و ترکیب پلت می‌تواند مفید باشد (Ebrahimi, 2020). مطالعات روی گاوهای جوان هلشتاین نشان داد که آن‌ها هنگام تغذیه با جیره‌های پلت شده در مقایسه با جیره‌های مخلوط سنتی، خوراک بیشتری مصرف می‌کنند. درنتیجه، افزایش وزن‌گیری روزانه آن‌ها در هر دو مورد یکسان است. این نشان دهنده این است که خوراک پلت شده می‌تواند بدون تأثیر منفی بر رشد گاوها، آن‌ها را برای مصرف جذاب‌تر کند (Bonfante *et al.*, 2016). با وجود مطالعات انجام‌شده درباره اثر شکل فیزیکی خوراک بر عملکرد گوساله‌های شیرخوار، نتایج گزارش‌شده در مورد مزایا و محدودیت‌های شکل‌های مختلف خوراک، به‌ویژه خوراک آجیلی، مخلوط و پلت‌شده، همواره یکسان نیست و به‌عواملی مانند ترکیب جیره، اندازه ذرات، روش فرآوری و شرایط مدیریتی وابسته است. همچنین، بخش عمده شواهد موجود مربوط به‌گوساله‌های نژاد هلشتاین بوده و اطلاعات محدودی درباره پاسخ گوساله‌های نژاد سیمنتال به‌شکل فیزیکی کنسانتره، به‌ویژه تحت شرایط تغذیه‌ای و مدیریتی رایج در ایران، وجود دارد. بنابراین، با توجه به تفاوت احتمالی پاسخ نژادها و شرایط پرورشی، بررسی مجدد اثر شکل فیزیکی کنسانتره در گوساله‌های سیمنتال می‌تواند به‌روشن شدن این روابط و فراهم کردن شواهد کاربردی برای انتخاب شکل مناسب خوراک در شرایط مشابه کمک کند. در نهایت، این پژوهش با هدف بررسی اثر شکل فیزیکی کنسانتره بر عملکرد رشد، گوارش‌پذیری مواد مغذی، فراسنجه‌های خونی، پاسخ‌های ایمنی، رشد اسکلتی و رفتار تغذیه‌ای گوساله‌های شیرخوار انجام شد. با توجه به‌نتایج متناقض مطالعات پیشین، این پژوهش به‌دنبال پاسخ به این پرسش بود که آیا تغییر شکل فیزیکی کنسانتره می‌تواند شاخص‌های عملکرد، سلامت و رفتار تغذیه‌ای گوساله‌های شیرخوار را تحت تأثیر قرار دهد یا خیر. نوآوری این پژوهش در ارزیابی هم‌زمان مجموعه‌ای از شاخص‌های رشد، سلامت، رشد اسکلتی و رفتار تغذیه‌ای در پاسخ به شکل فیزیکی کنسانتره بود.

مواد و روش‌ها

مکان و زمان انجام پژوهش

این پژوهش در واحد شخصی پرورش گاو شیری آقای محسن عابدینی واقع در روستای کریم آباد، شهرستان گرگان انجام شد.

جیره و تیمارهای آزمایشی

در این مطالعه، ۱۸ رأس گوساله نر نژاد سیمنتال با میانگین سن ۱۰ روز در زمان ورود به‌دوره آزمایشی و میانگین وزنی ۰/۹۲±۴۱/۸۵ کیلوگرم استفاده شدند. گوساله‌ها طی ۲۴ ساعت نخست پس از تولد از مادران جدا و پس از توزین به‌جایگاه‌های انفرادی منتقل شدند. جایگاه‌ها پیش از ورود گوساله‌ها شعله‌افکنی و با آهک ضدعفونی شده و دارای بستر کاه‌وکلش بودند. گوساله‌ها در یک ساعت نخست پس از تولد ۲ لیتر آغوز تهیه‌شده از گاوهای همان مزرعه دریافت کردند و ۶ ساعت بعد نیز ۲ لیتر آغوز دیگر دریافت کردند. سپس تا سه‌روزگی با آغوز و شیر انتقالی تغذیه شدند. از روز چهارم تا زمان ورود به دوره آزمایشی، گوساله‌ها تحت برنامه معمول شیرخوارگی قرار داشتند و روزانه در دو وعده، شیر کامل معادل ۱۰ درصد وزن بدن دریافت کردند. در میانگین سنی ۱۰ روزگی، گوساله‌ها به‌صورت تصادفی به‌تیمارهای آزمایشی اختصاص یافتند. دوره آزمایشی به‌مدت ۴۹ روز ادامه داشت. گوساله‌ها در طول دوره آزمایشی بر اساس برنامه یکسان مدیریت و تغذیه شدند و میزان مصرف کنسانتره آغازین روزانه ثبت گردید. معیار از شیرگیری، دستیابی به‌مصرف حداقل ۷۵۰ گرم کنسانتره آغازین در روز به مدت سه روز متوالی در نظر گرفته شد. با توجه به‌اینکه دوره آزمایشی از میانگین ۱۰ روزگی آغاز و در ۴۹ روزگی ادامه یافت، پایان دوره آزمایشی تقریباً مصادف با ۵۹ روزگی گوساله‌ها بود؛ بنابراین، زمان از شیرگیری بر اساس دستیابی به‌معیار مصرف کنسانتره تعیین شد و به‌عنوان یک سن ثابت از شیرگیری در نظر گرفته نشد.

در طول آزمایش گوساله‌ها دسترسی آزاد به‌آب تمیز داشتند. تیمارها بر پایه طرح کاملاً تصادفی به‌صورت زیر می‌باشند: ۱- کنسانتره کاملاً آجیلی (شاهد)، ۲- کنسانتره پلت شده و آجیلی ۳- کنسانتره پلت شده. طول دوره آزمایش ۴۹ روز بود که ۷ روز به‌عنوان عادت‌پذیری در نظر گرفته شد. به‌منظور حذف اثر ترکیب شیمیایی جیره، فرمولاسیون کنسانتره آغازین در تمامی تیمارها یکسان بود و تنها شکل فیزیکی خوراک بین تیمارها تفاوت داشت. کنسانتره آغازین بر اساس نیازهای تغذیه‌ای گوساله‌های شیرخوار فرموله شد و از مواد اولیه متداول شامل غلات، منابع پروتئینی، مکمل ویتامینی-معدنی و سایر افزودنی‌های مجاز تشکیل شد. یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضر این است که برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شرایط فرآوری جیره‌های آزمایشی، از جمله دمای پلت‌سازی، رطوبت و فشار طی فرآیند پلت‌سازی، ابعاد پلت و اندازه ذرات خوراک آجیلی، به‌صورت کمی اندازه‌گیری و ثبت نشدند. با این حال، تمامی تیمارهای آزمایشی بر اساس یک فرمولاسیون غذایی یکسان تهیه شدند و تفاوت موردنظر در طراحی آزمایش، شکل فیزیکی جیره بود. ترکیب مواد اولیه و ترکیب شیمیایی کنسانتره‌های آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- اقلام و ترکیب شیمیایی جیره

Table 1- Ingredients and chemical composition of the diet

اجزای تشکیل دهنده Diet components (% of dry matter)	جیره‌های آزمایشی Experimental diets
یونجه خشک Alfalfa hay	20.0
ذرت آسیاب شده Corn grain, ground	22.4
جو آسیاب شده Barley grain, ground	24.0
کنجاله سویا Soybean meal	12.8

کنجاله کلزا Rapeseed meal	10.4
سبوس گندم Wheat bran	8.0
مکمل ویتامینی_معدنی Vitamin-mineral supplement	0.96
نمک Salt	0.64
بیکربنات سدیم Sodium bicarbonate	0.8
ترکیبات شیمیایی (درصدی از ماده خشک) Chemical composition (% of DM)	
ماده خشک (درصدی از وزن تاره) Dry matter (% of as-fed)	89.2
پروتئین خام (درصد) Crude protein (%)	18.40
چربی خام (درصد) Ether extract (%)	1.87
الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد) Neutral detergent fiber (%)	26.08
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (درصد) Acid detergent fiber (%)	8.16
خاکستر (درصد) Ash (%)	4.71
انرژی قابل متابولیسم (مگاکالری/کیلوگرم ماده خشک) Metabolizable energy (Mcal/kg DM)	2.69

*مکمل ویتامین و معدنی شامل ویتامین A۱۰۰۰۰۰۰ واحد بین المللی، ویتامین D3۲۵۰۰۰۰ واحد بین المللی، ویتامین E۳۰۰۰ واحد بین‌المللی، منیزیم ۳۲۰۰۰ میلی‌گرم، منگنز۱۰۰۰۰ میلی‌گرم، روی ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم، مس ۳۰۰ میلی‌گرم، سلنیوم ۱۰۰ میلی‌گرم، کلسیم ۱۰۰ میلی‌گرم، آهن ۳۰۰۰ میلی‌گرم، کبالت ۱۰۰ میلی‌گرم، فسفر ۳۰۰۰۰ میلی‌گرم، مونسین ۱۵۰۰ میلی‌گرم، آنتی اکسیدان ۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم می‌باشد.

شاخص‌های مورد بررسی

مصرف خوراک

میزان خوراک مصرف شده‌ی روزانه، هر روز ساعت ۸ صبح با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و در آخور هر یک از گوساله‌ها ریخته می‌شد و ساعت ۸ صبح روز بعد، قبل از ریختن خوراک تازه، مابقی خوراک روز قبل جمع‌آوری می‌شد. مقدار خوراک مصرفی روزانه از اختلاف خوراک داده شده برای هر گوساله و باقیمانده خوراک باقیمانده در آخور روز بعد همان دام محاسبه می‌شد و پس از محاسبه میزان ماده خشک، بر اساس اختلاف وزن بین خوراک ارائه شده به‌دام و خوراک باقیمانده در صبح روز بعد، میزان ماده خشک مصرف روزانه محاسبه گردید. همچنین میانگین هر تیمار نیز از میانگین خوراک مصرفی هر گوساله در طول دوره آزمایش محاسبه گردید.

نسخه پیش انتشار

رشد اسکلتی

اندازه‌گیری برخی شاخص‌های بدنی شامل طول بدن، ارتفاع از جدوگاه، ارتفاع از کپل، محیط قفسه سینه، محیط مچ پا، محیط مچ دست، اندازه محیط دور شکم، فاصله دو سر استخوان پین، فاصله دو استخوان هیپ، فاصله دو استخوان هیپ تا پین، عرض لگن، در ابتدا و انتهای دوره انجام شد. جهت انجام این کار، گوساله‌ها در یک سطح کاملاً صاف و تمیز ثابت نگه‌داشته شده، سپس ابعاد بدن با متر و کولیس اندازه‌گیری و ثبت شد (Khan *et al.*, 2011; Rajabpour *et al.*, 2023).

عملکرد رشد

وزن‌کشی گوساله‌ها در ابتدا و پایان دوره انجام شد تا افزایش وزن کل و میانگین افزایش وزن روزانه محاسبه گردد. این کار با استفاده از باسکول دیجیتال دام‌کش و پس از ۱۲ ساعت محرومیت از غذا صورت گرفت. در طول آزمایش، دسترسی آزاد به‌آب وجود داشت. مقدار شیر مصرفی گوساله‌ها نیز اندازه‌گیری و برای محاسبه ماده خشک شیر در ضریب ۱۲/۵ درصد ضرب شد. ضریب تبدیل خوراک به‌روش زیر محاسبه شد:

افزایش وزن روزانه / (مقدار ماده خشک مصرفی شیر + مقدار مصرف آغازین) = ضریب تبدیل خوراک

مصرف ماده خشک با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (Teymouri et al., 2025):

۸۸٪ × خوراک آغازین مصرفی + ۱۲٪ × مصرف شیر = مصرف ماده خشک

فراسنجه‌های خونی

نمونه‌گیری از خون در روز ماقبل آخر دوره پرورش و حدود ۴ ساعت قبل از وعده خوراک صبح (به‌صورت ناشتا)، با سرنگ به میزان ۵ سی‌سی گرفته شد. از ۵ سی‌سی خون گرفته شده، مقدار ۲/۵ سی‌سی آن در لوله آزمایشی حاوی ماده ضد انعقاد (EDTA)، و مقدار ۲/۵ سی‌سی نیز در لوله آزمایشی بدون ماده ضد انعقاد جهت تهیه پلاسما ریخته شد. نمونه‌های خون در فلاسک حاوی یخ به‌سرعت به‌آزمایشگاه منتقل شدند. لوله‌های آزمایشی حاوی خون بدون ماده ضد انعقاد در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰ و به‌مدت ۱۰ دقیقه قرار داده و بعد از جدا شدن پلاسما، آن را در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری که جهت بررسی و آنالیز فاکتورهای خونی شامل، تعیین مقادیرگلوکز، پروتئین کل، آلبومین، گلوبولین، کراتینین، تری‌گلیسیرید، کلسترول، نیتروژن اوره‌ای خون (BUN)، انجام گرفت. بر مبنای روش‌های رنگ‌سنجی توسط یکی از کیت‌های تجاری پارس آزمون موجود در بازار و با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر (مدل Beckman Coulter AU680) مورد استفاده قرار گرفت. سطوح گلوبولین نیز بر اساس تفاضل آلبومین از پروتئین کل به‌دست آمد (Kaneko *et al.*, 2008). در نهایت تعداد کل گلبول‌های سفید، گلبول‌های قرمز، نوتروفیل‌ها، لنفوسیت‌ها، مونوسیت‌ها، ائوزینوفیل‌ها و نسبت نوتروفیل به لنفوسیت در نمونه‌های خون گوساله‌ها اندازه‌گیری شد.

قابلیت هضم

جهت تعیین قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی خوراک، نمونه‌برداری از مدفوع و خوراک در ۵ روز انتهای پژوهش انجام شد و از روش خاکستر نامحلول در اسید به‌عنوان معرف داخلی استفاده گردید. نمونه مدفوع

به‌صورت روزانه از رکتوم حیوانات گرفته شده و در نهایت نمونه‌ها باهم مخلوط و همگن شدند و یک نمونه ۱۰۰ گرمی از تمام گوساله تهیه شده و تا زمان آنالیز، نمونه‌ها در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شد (Dennis *et al.*, 2017). در نهایت در آزمایشگاه نمونه در آون به‌مدت ۲۴ ساعت کاملاً خشک شد. نمونه های خشک شده به‌وسیله آسیاب دارای غربال ۱ میلی‌متری آسیاب شده و قابلیت هضم مواد مغذی شامل ماده خشک، ماده آلی، چربی خام (AOAC, 2005)، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (Van Soest, 1991) با استفاده از مارکر خاکستر نامحلول در اسید (AIA) محاسبه شد (Van Keulen & Young, 1977). برای اندازه‌گیری درصد خاکستر نامحلول در اسید از رابطه زیر استفاده شد.

$$\text{درصد خاکستر نامحلول در اسید} = \frac{(A-B)\times 100}{X}$$

A وزن بوته به اضافه خاکستر نامحلول در اسید (گرم)، B= وزن بوته خالی (گرم)، X= وزن ماده خشک نمونه (گرم). در نهایت با استفاده از فرمول‌های مربوط به آزمایشات گوارشی، قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و NDF جیره محاسبه شد.

$$\text{درصد قابلیت هضم ظاهری} = 100 - (100 \times \frac{\text{درصد AIA در خوراک}}{\text{درصد AIA در مدفوع}} \times \frac{\text{درصد ماده مغذی در مدفوع}}{\text{درصد ماده مغذی در خوراک}})$$

اندازه‌گیری رفتار تغذیه‌ای

رفتارهای خوردن (eating)، نشخوار کردن (rumination)، جویدن (chewing) و استراحت (resting) در پایان دوره آزمایش، طی یک دوره کامل ۲۴ساعته و با استفاده از مشاهده مستقیم چشمی در فواصل زمانی پنج‌دقیقه‌ای ثبت شدند. مشاهدات در طول شب و روز انجام گرفت و رفتار مشاهده‌شده در هر نوبت ثبت شد. این روش مبتنی بر نمونه‌برداری زمانی بوده و برای توصیف الگوی زمانی فعالیت‌های رفتاری گوساله‌ها به‌کار رفت (Araujo *et al.*, 2008).

تجزیه‌وتحلیل آماری

داده‌های به‌دست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی با 3 تیمار و 6 تکرار با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹,۴؛ SAS) تجزیه آماری شد. داده‌های مربوطه با استفاده از رویه GLM تجزیه‌وتحلیل شدند. همچنین میانگین تیمارها از طریق آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد مقایسه شدند. مدل استفاده شده برای این طرح به شرح زیر می‌باشد:

$$Yij = \mu + Ti + \varepsilon ij$$

Y_{ij} = مقدار مشاهده i ام در تکرار j ام

μ = اثر میانگین

T_i = اثر تیمار i ام

ε_{ij} = اثر خطای آزمایشی مربوط به تیمار i ام در تکرار j ام

نتایج‌وبحث

عملکرد رشد

در پژوهش حاضر، شکل فیزیکی خوراک هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک مصرفی، وزن نهایی، میانگین افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل خوراک نداشت (P>۰/۰۵). نتایج مطالعه حاضر مخالف تحقیق (Munasik *et al.*, 2013) بود که بیان کردند، آماده کردن خوراک به‌شکل فشرده شده همچون پلت یا مکعبی در مقایسه با جیره مش، سبب بهبود مصرف خوراک، افزایش وزن و بازده غذا می‌شود که در تحقیق حاضر نیز باعث بهبود ماده خشک مصرفی به‌صورت غیرمعنی‌دار شد. تفاوت نتایج با مطالعه حاضر، احتمالاً به تفاوت در نوع دام و مرحله فیزیولوژیک مربوط است؛ زیرا در گوساله‌های شیرخوار، به‌دلیل تکامل نیافتن کامل شکمبه و محدود بودن مصرف خوراک آغازین، اثر شکل فیزیکی خوراک بر عملکرد ممکن است کمتر از گاوهای شیری بالغ باشد. گزارش دیگری نشان داد که مصرف جیره‌ی بلوک شده باعث بهبود عملکرد رشد و ضریب تبدیل غذایی تلیسه‌ها شد (Dus *et al.*, 2004)، اختلاف این یافته‌ها با نتایج مطالعه حاضر ممکن است با تفاوت در گونه، مرحله فیزیولوژیک، نوع خوراک و شرایط فرآوری مرتبط باشد. برای مثال، فشرده‌سازی خوراک می‌تواند با تغییر چگالی حجمی، کاهش جداسازی اجزای جیره و تسهیل مصرف خوراک همراه باشد؛ بااین‌حال، میزان بروز این آثار به‌ویژگی‌های خوراک اولیه و کیفیت فرآوری بستگی دارد و نمی‌توان فرض کرد که در تمام جیره‌های پلت‌شده به‌یک اندازه رخ می‌دهد. نتایج پژوهش‌هایی که روی گوساله‌های پرواری انجام شد نشان از آن داشت، گوساله‌هایی که خوراک به‌صورت مش یا آردی مصرف کردند در مقایسه با خوراک پلت شده، میزان مصرف خوراک کمتری داشتند که همسو با نتایج حاضر هم می‌باشد (Owens *et al.*, 1997)، این گزارش از نظر جهت تغییرات مصرف خوراک با روند عددی مشاهده‌شده در پژوهش حاضر قابل مقایسه است؛ بااین‌حال، از آنجا که اختلاف ماده خشک مصرفی در مطالعه حاضر معنی‌دار نبود، این دو یافته را نمی‌توان از نظر آماری معادل دانست. در پژوهش دیگری که (Franklin *et al.*, 2003)، انجام دادند دریافتند که بین گوساله‌هایی که خوراک پلت شده و آسیاب شده مصرف کردند افزایش وزن معنی‌داری وجود ندارد که با نتایج حاضر همسو می‌باشد، این همسویی می‌تواند نشان دهد که تغییر شکل فیزیکی خوراک الزاماً به‌بهبود رشد منجر نمی‌شود و پاسخ دام به‌شرایط جیره و ویژگی‌های خوراک نیز وابسته است. در مطالعه‌ی دیگری نیز هیچگونه بهبودی در ضریب تبدیل خوراک پلت شده در بز مشاهده نکردند که نشان می‌دهد مزایای احتمالی پلت‌سازی لزوماً در همه گونه‌ها و شرایط تغذیه‌ای به بهبود کارایی مصرف خوراک منجر نمی‌شود (Samanta *et al.*, 2003).

جدول ۲- تأثیر شکل فیزیکی خوراک بر فاکتورهای عملکرد رشد

Table 2- The effect of feed physical form on growth performance factors

فراسنجه‌ها Parameters	جیره‌های آزمایشی Experimental diets				
	1	2	3	SEM	P-Value
وزن اولیه (کیلوگرم) Initial weight (kg)	41.4	42.3	41.8	0.97	0.80
وزن نهایی (کیلوگرم) Final weight (kg)	51.8	53.3	53.7	0.95	0.37
میانگین افزایش وزن روزانه (کیلوگرم در روز)	0.30	0.31	0.33	0.01	0.70

Average daily weight gain (kg/day)					
ماده خشک مصرفی (کیلوگرم در روز)	1.19	1.33	1.31	0.09	0.51
Daily dry matter intake (kg/day)					
ضریب تبدیل خوراک	۳.۹۶	۴.۲۹	۳.۹۷	0.۳۸	0.۷۲
Feed conversion ratio					

۱- کنسانتره آغازین کاملاً آجیلی (شاهد)، ۲- کنسانتره آغازین پلت شده و آجیلی، ۳- کنسانتره آغازین پلت شده.

1- Diet containing a completely starter concentrate (control), 2- Diet containing pelleted and starter concentrate, 3- Pelleted starter concentrate.

قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی

نتایج نشان داد که شکل فیزیکی خوراک هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری بر فاکتورهای الیاف نامحلول در شوینده خنثی و چربی خام نداشت (P>۰/۰۵) اما باعث افزایش قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی شد که از نظر آماری معنی‌دار نبود. در پژوهش (Mustafa *et al.*, 1988)، بیان داشتند که فرآوری و تغییر شکل خوراک‌ها تأثیری بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی ندارد. در مقابل پژوهش دیگری توسط (Owens *et al.*, 1986)، انجام شد که نشان داد روش‌های فرآوری برای کاهش اندازه ذرات یا تغییر ماتریکس پروتئینی، که گرانول‌های نشاسته را به هم می‌چسباند، میزان هضم را هم در شکمبه و هم در روده کوچک افزایش می‌دهد. در تحقیق دیگری،

ارائه یونجه خرد شده مخلوط با کنسانتره استارتر، در مقایسه با افزودن یونجه آسیاب شده به‌کنسانتره استارتر، کل ماده خشک مصرفی و قابلیت هضم مواد مغذی را در طول هفته پس از شیرگیری بهبود می‌بخشد (Montoro *et al.*, 2013). طبق نتایج تحقیقی دیده شد که قابلیت هضم پروتئین خام در گوساله‌های تغذیه‌شده با خوراک آسیاب شده در مقایسه با آغازین پلت شده و آجیلی کمتر بود، اما تفاوت معنی‌داری بین گوساله‌های تغذیه‌شده با آغازین پلت شده و آغازین آجیلی مشاهده نشد (Pazoki *et al.*, 2017). نتایج گروه‌های تحقیقاتی در مورد قابلیت هضم عصاره اتری خوراک آغازین پلت شده و مش متفاوت است (Ganchev, 2023). به‌طوری که در یک تحقیق، قابلیت هضم عصاره اتری خوراک مش بیشتر از پلت بود (Quigley *et al.*, 2019)، اما نتایج متناقض نشان داد هنگام استفاده از خوراک آغازین پلت در جیره گوساله، قابلیت هضم عصاره اتری افزایش می‌یابد (Du *et al.*, 2021). اختلاف مشاهده‌شده بین نتایج، می‌تواند به تفاوت در نوع و ترکیب خوراک استارتر، ویژگی‌های فیزیکی جیره و شرایط فرآوری پلت مربوط باشد؛ زیرا فرآیند پلت‌سازی بسته به‌میزان حرارت و فشار اعمال‌شده ممکن است بر ساختار مواد مغذی و قابلیت دسترسی آن‌ها اثر متفاوتی داشته باشد. بنابراین، پاسخ قابلیت هضم عصاره اتری به‌شکل فیزیکی خوراک می‌تواند تحت تأثیر شرایط اختصاصی هر آزمایش قرار گیرد.

جدول ۳- تأثیر شکل فیزیکی خوراک بر قابلیت گوارش‌پذیری ظاهری مواد مغذی

Table 3- The effect of feed physical form on the apparent digestibility of nutrients

فاکتورها (درصد) Parameters (%)	جیره‌های آزمایشی Experimental diets			SEM	P-Value
	1	2	3		
ماده خشک Dry matter	42.18	50.04	55.56	5.37	0.50
ماده آلی Organic matter	45.75	51.22	59.53	4.76	0.40
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	52.21	49.36	56.28	9.07	0.93

Neutral detergent fiber چربی خام Crude fat	94.97	96.15	95.72	0.41	0.46

۱- کنسانتره آغازین کاملاً آجیلی (شاهد)، ۲- کنسانتره آغازین پلت شده و آجیلی، ۳- کنسانتره آغازین پلت شده.

1- Diet containing a completely starter concentrate (control), 2- Diet containing pelleted and starter concentrate, 3- Pelleted starter concentrate.

رفتار تغذیه‌ای

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که، شکل فیزیکی خوراک هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری بر رفتارهای تغذیه‌ای گوساله‌های شیرخوار شامل خوردن، نشخوار، جویدن و استراحت نداشت (P>۰/۰۵). در یک مطالعه، مدت زمان جویدن با کاهش اندازه ذرات و محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی کاهش یافت (Grant *et al.*, 1990). همچنین احتمال دارد میزان کم الیاف نامحلول در شوینده خنثی و شکل شیمیایی و فیزیکی خوراک باعث کمترشدن فعالیت نشخوارکردن و جویدن در جیره‌ها شده باشد، درنهایت استفاده از هر دو نوع شکل فیزیکی خوراک آغارین (پلت و آردی) به‌دلیل تفاوت در سرعت عبور و تخمیر در شکمبه ممکن است تولید پروتئین میکروبی را بهبود دهد (Molaei et al., 2021). در پژوهشی افزودن توکسین بایندر به جیره‌ی آغازین گوساله‌های شیرخوار تأثیر معنی‌داری بر رفتار تغذیه‌ای گوساله‌ها نداشت و احتمال دارد تغییرات در مدت زمان نشخوارکردن، مرتبط با تفاوت در مصرف ماده خشک و نیز فعالیت نشخوار به‌عنوان دلیلی برای تشخیص سلامت شکمبه به‌دلیل تحریک ترشح بزاق باشد (Ghoorchi *et al.*, 2025; Maekawa *et al.*, 2002).

جدول ٤- تأثیر شکل فیزیکی خوراک بر رفتار تغذیه‌ای گوساله‌های شیرخوار

Table 4- The effect of physical form of feed on the feeding behavior of suckling calves

فاکتورها (دقیقه در روز) Parameters (Min/day)	جیره‌های آزمایشی Experimental diets				
	1	2	3	SEM	P-Value
خوردن Eat	290.67	294.50	301.50	4.62	0.27
نشخوار Rumination	193.50	197.50	199	3.54	0.54
جویدن Chew	484.17	492.00	500.50	7.14	0.30
استراحت Rest	471.67	456.00	439.00	14.29	0.30

۱- کنسانتره آغازین کاملاً آجیلی (شاهد)، ۲- کنسانتره آغازین پلت شده و آجیلی، ۳- کنسانتره آغازین پلت شده.

1- Diet containing a completely starter concentrate (control), 2- Diet containing pelleted and starter concentrate, 3- Pelleted starter concentrate.

فراسنجه‌های خونی

نتایج مرتبط با فراسنجه‌های خونی در جدول ۵ نشان داده شده است. در این تحقیق شکل فیزیکی خوراک آغازین هیچ تأثیر معنی‌داری بر گلوکز، نیتروژن اوره‌ای، کراتین، کلسترول، تری‌گلیسیرید، پروتئین کل، آلبومین و گلوبولین نداشت (P>۰/۰۵). در آزمایشی که توسط کامینز و همکاران (Cummins *et al.*, 2009) انجام شد، با افزایش نسبت کنسانتره، غلظت گلوکز و اوره خون افزایش یافت. افزایش غلظت گلوکز پلاسما به دنبال افزایش نسبت کنسانتره مربوط به مصرف بیشتر ماده خشک می‌شود. همچنین، در مطالعه‌ی دیگری که توسط کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.*, 2017)، صورت پذیرفت، در رابطه با تأثیر شکل فیزیکی خوراک بر گلوکز، اوره، آلبومین، کراتینین، پروتئین کل و عناصر معدنی خون در موارد بسیاری عدم اختلاف

معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی گزارش شده است که همسو با نتایج حاضر نیز می‌باشد. گلوکز پلاسما یکی از شاخص‌های متابولیکی مرتبط با وضعیت انرژی دام است و غلظت آن تحت تأثیر عواملی مانند میزان دریافت مواد مغذی، سن و وضعیت فیزیولوژیک قرار می‌گیرد. دریافت ناکافی مواد مغذی می‌تواند از طریق کاهش دسترسی به‌پیش‌سازهای گلوکونئوژنز، بر غلظت گلوکز خون تأثیر بگذارد (Ndlovu *et al.*, 2009). غلظت نیتروژن اوره‌ای خون در نشخوارکنندگان به‌عوامل مختلفی از قبیل ترکیب شیمیایی خوراک، درصد پروتئین‌خام جیره، نسبت پروتئین‌خام به‌موادآلی قابل‌تخمیر در شکمبه و متابولیسم پروتئین بعد از شکمبه، ترشح آندوژنوس نیتروژن اوره‌ای و عملکرد کبد و کلیه‌ها بستگی دارد (Rosler *et al.*, 1993). چرخش اوره باعث تبدیل آمونیاک به اوره در کبد می‌شود و در بازگشت اوره از بزاق به شکمبه و توسعه شکمبه و نیز تولید پروتئین میکروبی و اسیدهای آمینه ضروری نقش دارد (Hayashi *et al.*, 2006). غلظت طبیعی کلسترول در گوساله نر بین ۱۹۳–۶۳ میلی‌گرم در دسی‌لیتر است (Ndlovu *et al.*, 2009; Merck, 2009).

جدول ۵- تأثیر شکل فیزیکی خوراک بر فراسنجه‌های خونی گوساله‌های شیرخوار

Table 5- The effect of physical form of feed on blood parameters of suckling calves

فاکتورها (میلی‌گرم/دسی‌لیتر) Parameters (mg/dl)	جیره‌های آزمایشی Experimental diets				
	1	2	3	SEM	P-Value
گلوکز Glucose	101.75	102.25	103.50	2.98	0.94
نیتروژن اوره‌ای خون Urea nitrogen	20.50	17.00	17.25	1.44	0.34
کراتین Creatinine	0.97	0.86	0.90	0.03	0.19
کلسترول Cholesterol	142.50	146.25	145.75	8.47	0.96
تری‌گلیسیرید Triglyceride	23.50	32.50	41.25	7.28	0.41
پروتئین کل Total protein	6.30	6.51	6.36	0.11	0.57
آلبومین Albumin	3.65	3.52	3.63	0.10	0.71
گلوبولین Globulin	2.65	2.99	2.73	0.18	0.53

۱- کنسانتره آغازین کاملاً آجیلی (شاهد)، ۲- کنسانتره آغازین پلت شده و آجیلی، ۳- کنسانتره آغازین پلت شده.

1- Diet containing a completely starter concentrate (control), 2- Diet containing pelleted and starter concentrate, 3- Pelleted starter concentrate.

شمارش سلول‌های خونی و ایمنی

نتایج مرتبط با شمارش سلول‌های خونی و ایمنی در جدول ۶ ارائه شده است. شکل فیزیکی خوراک آغازین هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری بر شمارش سلول‌های خونی و ایمنی گوساله‌های شیرخوار نداشت (P>۰/۰۵). این تفسیر با یافته‌های مطالعه (Castro et al., 2025)، نیز تا حدی همسو است. در آن پژوهش، مقایسه خوراک آغازین بافت‌دار حاوی دانه کامل ذرت با خوراک پلت‌شده در گوساله‌های ماده هلشتاین، تغییر عمده‌ای در پروفایل خونی ایجاد نکرد؛ هرچند برخی شاخص‌های سلامت و وضعیت مدفوع بین تیمارها متفاوت بودند. این نتایج نشان می‌دهند که پاسخ گوساله‌ها به‌شکل فیزیکی خوراک ممکن است بسته به‌شاخص مورد ارزیابی متفاوت باشد و نبود تغییر در پروفایل خونی الزاماً به‌معنای نبود اثر بر سایر جنبه‌های سلامت نیست. لنفوسیت‌ها عاملی

ضروری برای پاسخ ایمنی هومورال و سلولی می‌باشند و به‌طور کلی حضور مواد سمی یا ضد تغذیه‌ای در آغازین، باعث کاهش بافت‌های خونی شده و در نهایت باعث تولید کمترین مقدار گلبول سفید می‌شوند (Mahgoub *et al.*, 2008). سلامت گوساله‌ها، با ارزیابی تعداد نوتروفیل‌ها، تعداد لنفوسیت‌ها و نسبت نوتروفیل به‌لنفوسیت بررسی می‌شود (Von Konigslow *et al.*, 2019). یکی از عوامل مهم در تفسیر شاخص‌های خونی گوساله‌ها، سن و مرحله رشد آن‌هاست. ترکیب جمعیت لکوسیت‌ها و تعداد برخی از زیرجمعیت‌های آن در طول رشد تغییر می‌کند؛ ازاین‌رو، تفسیر نتایج باید با در نظر گرفتن سن دام و شرایط پرورشی انجام شود. افزون بر این، عواملی مانند وضعیت سلامت، تنش ناشی از جابه‌جایی و مدیریت، و شرایط محیطی می‌توانند بر توزیع سلول‌های سفید خون اثر بگذارند (Roland et al., 2014). ازاین‌رو، نبود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی ممکن است نشان‌دهنده آن باشدکه تفاوت شکل فیزیکی خوراک، در شرایط این مطالعه، اثر قابل‌اندازه‌گیری بر این شاخص‌ها نداشته است؛ هرچند برای تأیید این تفسیر، توجه به‌وضعیت سلامت دام‌ها و شرایط مدیریتی ضروری است.

جدول ٦- تأثیر شکل فیزیکی خوراک بر شمارش سلول‌های خونی و ایمنی گوساله‌های شیرخوار

Table 6- The effect of feed physical form on blood cell counts and immunity of suckling calves

فاکتورها ($\times10^3$/ µL) Parameters ($\times10^3$/µl)	جیره‌های آزمایشی Experimental diets			SEM	P-Value
	1	2	3		
شمارش گلبول‌های سفید White blood cell count	18.81	18.46	19.24	0.35	0.47
شمارش گلبول‌های قرمز Red blood cell count	8.56	8.77	8.74	0.43	0.95
نوتروفیل Neutrophil	5.75	6.63	5.92	0.58	0.67
لنفوسیت lymphocyte	11.83	10.99	12.41	0.64	0.46
مونوسیت Monocyte	0.79	0.64	0.67	0.08	0.54
ائوزینوفیل Eosinophil	0.23	0.18	0.24	0.03	0.47
نسبت نوتروفیل به لنفوسیت Neutrophil to lymphocyte ratio	0.51	0.61	0.48	0.07	0.60

۱- کنسانتره آغازین کاملاً آجیلی (شاهد)، ۲- کنسانتره آغازین پلت شده و آجیلی، ۳- کنسانتره آغازین پلت شده.

1- Diet containing a completely starter concentrate (control), 2- Diet containing pelleted and starter concentrate, 3- Pelleted starter concentrate.

شاخص‌های رشد اسکلتی

شکل فیزیکی خوراک آغازین هیچ‌گونه تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد اسکلتی گوساله‌های شیرخوار نداشت که در جدول ۷ بیان شده است (P>۰/۰۵). مصرف خوراک آغازین با پروتئین ۲۰ درصد سبب افزایش نرخ متابولیسم در روده و در نهایت افزایش شاخص‌های رشد اسکلتی می‌شود (Kazemi *et al.*, 2018). خان و همکاران (Khan *et al.*, 2016)، گزارش کردند که بهبود نسبت پروتئین خام به‌انرژی قابل متابولیسم باعث بهبود اندازه بدن در گوساله‌های شیرخوار می‌گردد. در پژوهشی که توسط (Rajabpour *et al.*, 2023)، انجام گرفت مشخص گردید که افزودن سطوح مختلف عسل طبیعی در شیرگوساله‌های شیرخوار هلشتاین بر شاخص‌های رشد اسکلتی اثری نداشت. هم‌راستا با یافته‌های پژوهش حاضر، (Hosseini *et al.*, 2016; Lin *et al.*, 2018) گزارش کردند که مصرف علوفه در سن پایین نسبت به‌سنین بالاتر منجر به‌افزایش رشد

اسکلتی گوساله‌ها نگردید. بر خلاف نتایج ما، در پژوهش (Rajabi *et al.*, 2026)، بافت فیزیکی خوراک آغازین باعث معنی‌دار شدن رشد شاخص‌های اسکلتی ازجمله ارتفاع از جدوگاه و ارتفاع هیپ شد. این اختلاف ممکن است ناشی از ارتباط مثبت بین افزایش وزن روزانه و رشد اسکلتی در گوساله‌های شیری باشد؛ به‌گونه‌ای که معمولاً با افزایش نرخ رشد، شاخص‌های رشد اسکلتی نیز بهبود می‌یابند. این موضوع توسط(Heinrichs *et al.*, 2007)، گزارش شده است، اما با نتایج پژوهش حاضر همخوانی ندارد.

جدول ۷- تأثیر شکل فیزیکی خوراک بر شاخص‌های رشد اسکلتی گوساله‌های شیرخوار

Table 7- The effect of feed physical form on skeletal growth indices of suckling calves

فاکتورها (سانتی‌متر) Parameters (cm)	جیره‌های آزمایشی Experimental diets				
	1	2	3	SEM	P-Value
طول بدن Body length					
ابتدای دوره Initial	71.66	66.83	68.50	1.93	0.23
انتهای دوره The End	77.00	73.33	73.66	1.83	0.32
ارتفاع از جدوگاه Withers height					
ابتدای دوره Initial	75.83	78.50	74.16	1.98	0.32
انتهای دوره The End	82.50	84.16	80.66	1.90	0.45
ارتفاع از کپل Height of capel					
ابتدای دوره Initial	82.00	81.16	81.17	1.49	0.90
انتهای دوره The End	87.33	87.16	85.83	1.34	0.69
محیط قفسه سینه Chest					
ابتدای دوره Initial	78.16	79.00	75.16	2.04	0.40
انتهای دوره The End	84.00	85.50	81.16	1.99	0.32
محیط مچ پا Ankle circumference					
ابتدای دوره Initial	15.83	15.33	15.43	0.39	0.59
انتهای دوره The End	18.16	18.00	17.66	0.34	0.58
محیط مچ دست Wrist circumference					
ابتدای دوره Initial	13.33	13.50	13.66	0.40	0.84
انتهای دوره The End	15.16	15.33	15.50	0.36	0.81
محیط دور شکم Abdominal girth					
ابتدای دوره Initial	81.83	81.50	81.84	1.75	0.99
انتهای دوره The End	93.00	93.66	93.33	1.78	0.97
فاصله دو استخوان پین The distance between two pin bones					

نسخه پیش انتشار

ابتدای دوره Initial	9.16	8.66	9.17	0.32	0.45
انتهای دوره The End	11.50	11.00	11.50	0.35	0.52
فاصله دو استخوان هیپ The distance between the two hip bones					
ابتدای دوره Initial	11.66	11.16	12.00	0.68	0.69
انتهای دوره The End	15.83	16.16	16.33	0.61	0.84
فاصله هیپ تا پین The distance between the pin bone and the hip					
ابتدای دوره Initial	18.16	18.50	18.66	0.65	0.86
انتهای دوره The End	21.00	21.16	20.66	0.60	0.84
عرض لگن Pelvic width					
ابتدای دوره Initial	29.16	30.00	31.33	1.33	0.52
انتهای دوره The End	38.50	38.33	39.16	1.12	0.86

۱- کنسانتره آغازین کاملاً آجیلی (شاهد)، ۲- کنسانتره آغازین پلت شده و آجیلی، ۳- کنسانتره آغازین پلت شده.

1- Diet containing a completely starter concentrate (control), 2- Diet containing pelleted and starter concentrate, 3- Pelleted starter concentrate.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، تفاوت معنی‌داری بین شکل‌های فیزیکی خوراک آغازین در صفات مورد بررسی مشاهده نشد. بااین‌حال، این یافته به‌تنهایی اثبات‌کننده برابری کامل تیمارها یا نبود مزیت احتمالی خوراک پلت‌شده نیست. از سوی دیگر، به‌دلیل انجام‌نشدن ارزیابی اقتصادی در مطالعه حاضر، امکان نتیجه‌گیری قطعی درباره صرفه اقتصادی استفاده از خوراک پلت‌شده وجود ندارد. بنابراین، انجام مطالعات تکمیلی با تمرکز بر هزینه فرآوری و تولید خوراک، هزینه به‌ازای واحد افزایش وزن و سودآوری نهایی، برای تعیین مناسب‌ترین شکل فیزیکی خوراک آغازین ضروری است.

Refrences

1. AOAC. (2005). Official methods of analysis. 18th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
2. Araujo, R. C., Pires, A. V., Susin, I., Mendes, C. Q., Rodrigues, G. H., Packer, I. U., & Eastridge, M. L. (2008). Milk yield, milk composition, eating behavior, and lamb performance of ewes fed diets containing soybean hulls replacing coastcross (Cynodon species) hay. *Journal of Animal Science*, 86(12), 3511-3521. https://doi.org/10.2527/jas.2008-0940.
3. Baldwin, R. L., McLeod, K. R., Klotz, J. L., & Heitmann, R. N. (2004). Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and postweaning ruminant. *Journal of Dairy Science*, 87(E. Suppl.), E55–E65. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70061-2.
4. Bonfante, E., Palmonari, A., Mammi, L. U. D. O. V. I. C. A., Canestrari, G., Fustini, M., & Formigoni, A. (2016). Effects of a completely pelleted diet on growth performance in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science,* 99(12), 9724-9731. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11033.

5. Castro, Í. R., Leite, G. B. C., Carrari, I. F., Silva, L. N. C., Chagas, J. C. C., More, D. D., & Marcondes, M. I. (2025). Effects of the physical form of starter feed on the intake, performance, and health of female Holstein calves. *Animal*, *19*(2), 101400. https://doi: 10.1016/j.animal.2024.101400.
6. Church, D. C. (1988). The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
7. Cummins, B., Kiely, P. O, Keane, M. G., & Kenny, D. A. (2009). Feed intake pattern, behavior, rumen characteristics and blood metabolites of finishing beef steers offered total mixed rations constituted at feeding or ensiling. *Irish Journal Agricultural Food Research*, 48, 57–73.
8. Dennis, T. S., Hu, W., Suarez-Mena, F. X., Hill, T. M., Quigley, J. D., & Schlotterbeck, R. L. (2017). Use of fecal starch concentration as an indicator of dry feed digestion in preweaned dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 100(8), 6266-6271. https://doi.org/10.3168/jds.2016-12434
9. Du, C., Ma, L., Zhen, Y. G., Kertz, A. F., Zhang, W. J., & Bu, D. P. (2021). Effects of different physical forms of starter on digestibility, growth, health, selected rumen parameters and blood metabolites in Holstein calves. *Animal Feed Science and Technology*, *271*, 114759. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114759.
10. Dus, M. M., Samanta, A. K., Singh, K. K., Kundu, S. S., Sharma, D. S. & Rai, S. (2004). Effect of different forms of complete diets on nutrient utilization in crossbred calves. *Indian Journal of Animal Science*, 74: 969-972.
11. Ebrahimi, S. H. (2020). Feeding complete concentrate pellets containing ground grains or blend of steam-flaked grains and other concentrate ingredients in ruminant nutrition–a review. *Annals of Animal Science*, *20*(1), 11-28. https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0055.
12. Franklin, T., Amaral-Phillips, D. M., Jackson, J. A., & Campbell, A. A. (2003). Health and performance of Holstein calves that suckled or were hand-fed colostrum and were fed one of three physical forms of starter. *Journal Dairy Science*, 86, 2145-2150. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73804-1.
13. Ganchev, G. (2023). Effect of physical form of starter feed on nutrient digestibility of dairy calves. *Agricultural Science & Technology, (1313-8820)*, *15*(4). https://doi.org/10.15547/ast.2023.04.035.
14. Ghoorchi, T., Piyadeh Kouhsar, M., Hosseinabadi, M. & Toghdory, A. (2025). Impact of adding binder toxin to the milk on growth performance, digestibility of nutrients, health index, skeletal growth indices and blood metabolites of Simmental calves. *Iranian Journal of Animal Science*, 56 (2), 239-253. https://doi.org/10.22059/ijas.2024.377088.654015.
15. Grant, R. J., Colenbrander, V. F., & Mertens, D. R. (1990). Milk fat depression in dairy cows: role of particle size of alfalfa hay. *Journal of Dairy Science*, *73*(7), 1823-1833. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78862-5.
16. Hayashi, H., Kawai, M., Nonaka, I., Terada, F., Katoh, K., & Obara, Y. (2006). Developmental changes in the kinetics of glucose and urea in Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, *89*(5), 1654-1661. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72232-9.
17. Heinrichs, A. J., Erb, H. N., Rogers, G. W., Cooper, J. B., & Jones, C. M. (2007). Variability in Holstein heifer heart-girth measurements and comparison of prediction equations for live weight. *Preventive Veterinary Medicine*, *78*(3-4), 333-338. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2006.11.002.
18. Hosseini, S. M., Ghorbani, G. R., Rezamand, P., & Khorvash, M. (2016). Determining optimum age of Holstein dairy calves when adding chopped alfalfa hay to meal starter diets based on measures of growth and performance. *Animal*, *10*(4), 607-615. https://doi.org/10.1017/S1751731115002499.

19. Kaneko, J. J., Harvey, J. W., & Bruss, M. L. (2008). Clinical Biochemistry of Domestic Animals. *Elsevier Science.*
20. Karimizadeh, E., Chaji, M., & Mohammadabadi, T. (2017). The effects of Journal physical form of diet on nutrient digestibility. Rumen fermentation, rumination, growth performance and protozoa population of finishing lambs. *Animal Nutrition Journal*, 3(2), 139-144. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.01.004.
21. Kazemi, M., & Valizadeh, R. (2026) Nutritional strategies for enhancing the quality of animal-derived food products. *Discov Food,* 6, 29. https://doi.org/10.1007/s44187-025-00759-y.
22. Kazemi-Bonchenari, M., Falahati, R, M., Poorhamdollah, S., Heidari, R., & Pezeshki, A. (2018). Essential oils improved weight gain, growth and feed efficiency of young dairy calves fed 18 or 20% crude protein starter diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102, 652– 661. https://doi.org/10.1111/jpn.12867.
23. Khan, M. A., Bach, A., Weary, D. M., & von Keyserlingk, M. A. G. (2016). Invited review: Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99(2), 885–902. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9975.
24. Lin, X. Y., Wang, Y., Wang, J., Hou, Q. L., Hu, Z. Y., Shi, K. R., & Wang, Z. H. (2018). Effect of initial time of forage supply on growth and rumen development in preweaning calves. *Animal Production Science*, *58*(12), 2224-2232. https://doi.org/10.1071/AN16667.
25. Maekawa, M., Beauchemin, K. A., & Christensen, D. A. (2002). Chewing activity, saliva production, and ruminal pH of primiparous and multiparous Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 85, 1176- 182. https://doi: 10.3168/jds. S0022-0302(02)74180-5.
26. Mahgoub, O., Kadim, I. T., Tageldin, M. H., Al-Marzooqi, W. S., Khalaf, S. Q., & Ali, A. A. (2008). Clinical profile of sheep fed non-conventional feeds containing phenols and condensed tannins. *Small Ruminant Research*, *78*(1-3), 115-122. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.05.009.
27. Molaei, M., Kazemi-Bonchenari, M., Mirzaei, M., & Esmaeili, H. R. (2021). The physical form of starter (finely ground versus pelleted) and alfalfa hay (chopped versus pelleted) in Holstein dairy calves: Effects on growth performance, feeding behaviour, ruminal fermentation, and urinary purine derivatives. *Animal Feed Science and Technology, 279*, 115031. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115031
28. Montoro, C., Miller-Cushon, E. K., DeVries, T. J., & Bach, A. (2013). Effect of physical form of forage on performance, feeding behavior, and digestibility of Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 96, 1117-1124. https://doi.org/10.3168/jds.2012-5731.
29. Munasik, C., Sutrisno, I., Anwar, S. & Prayitno, C. H. (2013). Physical Characteristics of Pressed Complete Feed for Dairy Cattle. *International Journal of Science and Engineering*, 4, 61-65.
30. Mustafa, A. F., Christensen, D. A., & McKinnon, J. J. (1988). Chemical characterization and nutrient degradability of hulled and hull-Less oats. *Journal Science Food Agriculture*, 77, 449-455.
31. Ndlovu, T., Chimonyo, M., Okoh, A. I., Muchenje, V., Dzama, K., Dube, S., & Raats, J. G. (2009). A comparison of nutritionally-related blood metabolites among Nguni, Bonsmara and Angus steers raised on sweetveld. *The Veterinary Journal*, *179*(2), 273-281. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.09.007.
32. Omidi-Mirzaei, H., Azarfar, A., Kiani, A., Mirzaei, M., & Ghaffari, M. H. (2018). *Journal of Dairy Science*, 101(7), 6074-6084. doi.org/10.3168/jds.2017-13892.

33. Owens, F. N., & Secrist, D. S. (1997). The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *Journal of Animal Science*, 75(3), 868.https://doi.org/10.2527/1997.753868x.
34. Owens, F. N., Zinn, R. A., & Kim, Y. K. (1986). Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal Animal Science*, 63, 1634-1645. https://doi.org/10.2527/jas1986.6351634x.
35. Pazoki, A., Ghorbani, G. R., Kargar, S., Sadeghi-Sefidmazgi, A., Drackley, J. K., & Ghaffari, M. H. (2017). Growth performance, nutrient digestibility, ruminal fermentation, and rumen development of calves during transition from liquid to solid feed: Effects of physical form of starter feed and forage provision. *Animal Feed Science and Technology,* 234, 173-185. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.06.004.
36. Quigley, J. D., Hill, T. M., Hulbert, L. E., Dennis, T. S., Suarez-Mena, X. F., & Bortoluzzi, E. M. (2019). Effects of fatty acids and calf starter form on intake, growth, digestion, and selected blood metabolites in male calves from 0 to 4 months of age. *Journal of Dairy Science*, *102*(9), 8074-8091. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16688.
37. Rajabi, Y., Chashnidel, Y., Teimoury Yansary, A., & Rafiee, H. (2026). Effect of forage feeding time and physical form of starter feed on dry matter intake, average daily gain, body structural growth and digestibility of Holstein dairy calves. *Journal of Ruminant Research*, 13(4), 135-155. https://doi.org/10.22069/ejrr.2025.23637.2008.
38. Rajabpour, Z., Ghoorchi, T., Toghdory, A., & Asadi, M. (2023). Effect of milk fortified with natural honey on performance, digestibility, blood metabolites, and skeletal growth indices of suckling Holstein calves. *Animal Production Research*, 12(4), 79-88. https://doi.org/10.22124/ar.2024.7391.
39. Roland, L., Drillich, M., & Iwersen, M. (2014). Hematology as a diagnostic tool in bovine medicine. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 26(5), 592-598.
40. Rosler, D. K., Ferguson, J. D., Sniffen, C. J. & Letrrema, J. (1993). Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk non protein nitrogen in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 16(2), 525-534.
41. Samanta, A. K., Singh, K. K., Das, M. M., Maity, S. B., & Kundu, S. S. (2003). Effect of complete feed block on nutrient utilisation and rumen fermentation in Barbari goats. *Small Ruminant Research*, 48, 95-102. https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00262-6.
42. Svihus, B., Uhlen, A. K., & Harstad, O. M. (2005). Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology*, *122*(3-4), 303-320.
43. Terré, M., Castells, L., Khan, M. A., & Bach, A. (2015). Interaction between the physical form of the starter feed and straw provision on growth performance of Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, *98*(2), 1101-1109. https://doi.org/10.3168/jds.2014-8151.
44. Teymouri, A., Toghdory, A., Ghoorchi, T., & Asadi, M. (2025). Impact of Milk Enrichment with Manganese Supplement in Organic and Inorganic Forms on Performance, Biochemical, Antioxidant Parameters and Feeding Behavior of Suckling Calves. *Iranian Journal of Animal Science Research/Pizhūhishhā-Yi ʿulum-i Dāmī-i Īrān*, *17*(1), 21. http://doi.org/10.22067/ijasr.2024.89957.1216.
45. Van Keulen, J. Y. B. A., & Young, B. A. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, *44*(2), 282-287.https://doi.org/10.2527/jas1977.442282x.
46. Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal

nutrition. *Journal of Dairy Science*, *74*(10), 3583-3597.https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
47. Von Konigslow, T. E., Renaud, D. L., Duffield, T. F., Higginson, V., & Kelton, D. F. (2019). Validation of an automated cell counter to determine leukocyte differential counts in neonatal Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, *102*(8), 7445-7452. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16370
48. Wilkins, R. J., & Jones, R. (2000). Alternative home-grown protein sources for ruminants in the United Kingdom. *Animal Feed Science and Technology*, 85, 23-32. https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00140-1

نسخه پیش انتشار