

Comparison of injectable, oral and emulsion sources of vitamin D₃ on growth performance, blood metabolites and liver enzymes of suckling Holstein calves

Karim Cheshm Berah¹, Jamal Seifdavati², Hossein Abdi-Benemar^{2*}, Reza Seyedsharifi², A.Z.M. Salem³

1- PhD student in Animal Nutrition, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2- Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3- Professor, Department of Animal Sciences, Universidad Autónoma del Estado de México.

*Corresponding Author's Email: jseifdavati@uma.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2026.98640.1312>

Introduction: However, since milk is widely consumed early in life, it is considered an ideal food for increasing vitamin D intake. Therefore, vitamin D₃ emulsion can be mixed into the milk consumed by suckling calves, and in the emulsification method, fats become viscous and improve digestive absorption. On the other hand, the use of vitamin D₃ emulsion does not require skilled workers and does not cause stress in calves. Therefore, based on the above, it can be said that the use of vitamin D₃ emulsion is preferable to the injection and oral methods. The aim of this study was to investigate the effects of different sources of vitamin D₃ on growth performance, blood metabolites and liver enzymes of suckling Holstein calves.

Materials and Methods: Forty Holstein calves with a mean age of 30±2 days and a weight of 59±1 kg were selected in a completely randomized design with 5 treatments and 8 replications. Treatments included: 1) Control group (basal diet): receiving commercial basal diet without additional vitamin D₃, 2) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement orally, 3) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in injectable form, 4) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in emulsion type I, 5) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in emulsion type II, mixed with milk per day. For *in vitro* production of fat-soluble vitamin D₃ (cholecalciferol) emulsion, a method described by Asghari *et al.* (Asghari *et al.*, 2021) with minor modifications was used. High-dose ampoules (300,000 IU/mL; manufactured by Darupakhsh Pharmaceutical Factory, Iran) were used as the source of vitamin D₃. After data collection, statistical analysis was performed using software (SAS, 2003). Repeated data including calf growth performance were analyzed using Mixed procedure and blood parameters data were analyzed using GLM. LSMEANS method was used to compare means and 5% probability level was considered as significant level.

Results and discussion: The results obtained regarding growth performance indicate that the weight of calves, daily weight gain, feed intake and feed conversion ratio of suckling calves were affected by the addition of different sources of vitamin D₃. Thus, the daily weight gain and feed conversion ratio were significantly improved by adding 1000 IU of vitamin D₃ emulsion type II source in suckling calves in the first, second, third and entire research period (0-7, 7-14, 14-21 and 0-21 days of the experiment) and also by injecting 1000 IU of vitamin D₃ per day in the second, third and entire period (7-14, 14-21 and 0-21 days of the experiment), in a linear and quadratic manner compared to the other experimental treatments. The weight of calves also showed a

significant increase in a linear manner in the second week (7-14 days of the experiment) and also in a linear and quadratic manner compared to the other treatments by using 1000 IU of vitamin D₃ in the form of injection and type II emulsion in the second week (7-14 days of the experiment) and in the third week (14-21 days of the experiment). The results related to feed intake also showed that in the first week of the experiment (0-7 days of age), adding 1000 international units of vitamin D₃ emulsion type I and II per day, and in the second, third and entire period (7-14, 14-21 and 0-21 days of age), using 1000 international units of vitamin D₃ per day by injection and emulsion type I and II showed a significant increase compared to the other treatments. Of course, this significance was linear in the first and second weeks and linear and quadratic in the third week and the entire period. The results obtained from blood metabolites and liver enzymes also indicate that the use of different sources of vitamin D₃ could not have a significant effect on the plasma concentrations of glucose, cholesterol, triglycerides, albumin and protein. In contrast, the blood concentration of aspartate aminotransferase using 1000 IU of vitamin D₃ in the form of injection and emulsion type I and II per day and the serum concentration of alanine aminotransferase also showed a significant linear decrease compared to other experimental groups with the addition of 1000 IU of vitamin D₃ emulsion type II per day ($P < 0.05$). Also, treatments 3, 4 and 5 (treatments receiving 1000 IU of vitamin D₃ in the form of injection, emulsion type I and II per day) increased the plasma concentration of vitamin D₃, calcium and phosphate in a linear and quadratic manner significantly compared to the other treatments.

Conclusion: In general, adding excess vitamin D₃ to commercial diets, depending on the form of consumption and the calf's growth stage, can be effective in improving the metabolic status and general health of suckling calves by improving growth performance, increasing vitamin D status, improving calcium and phosphorus status, and adjusting some biochemical indicators.

Keywords: Blood metabolites, Growth performance, Liver enzymes, Suckling calves, Vitamin D₃.

مقایسه منابع تزریقی، خوراکی و امولسیون ویتامین D₃ بر عملکرد رشد، متابولیت‌های خونی و آنزیم‌های کبدی گوساله‌های شیرخوار نژاد هلشتاین

کریم چشم براه^۱، جمال سیف دواتی^{۲*}، حسین عبدی بنمار^۲، رضا سیدشریفی^۲، عبدالفتاح زین الدین محمد سالم^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۱

۱- دانشجوی دکتری تغذیه دام، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- استاد تمام گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- استاد اتونومیک ایستادوی مکزیک.

نویسنده مسئول: jseifdavati@uma.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2026.98640.1312>

چکیده

در این پژوهش تاثیر استفاده از مقادیر اضافی ویتامین D₃ به صورت‌های مختلف در جیره پایه تجاری مورد استفاده در گوساله‌های شیری بر عملکرد رشد، متابولیت‌های خونی و آنزیم‌های کبدی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ۴۰ رأس گوساله هلشتاین با میانگین سنی 30 ± 2 روز و وزنی 59 ± 1 کیلوگرم در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و ۸ تکرار انتخاب شدند. تیمارها شامل: (۱) گروه کنترل (جیره پایه): دریافت‌کننده جیره پایه تجاری بدون دریافت ویتامین D₃ اضافی، (۲) جیره پایه تجاری + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ به صورت خوراکی، (۳) جیره پایه تجاری + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ به شکل تزریقی، (۴) جیره پایه تجاری + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ امولسیون نوع اول، (۵) جیره پایه تجاری + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ امولسیون نوع دوم، مخلوط‌شده با شیر در روز بودند. افزایش وزن روزانه و راندمان خوراک با افزودن ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی منبع امولسیون ویتامین D₃ نوع دوم گوساله‌های شیرخوار، در سن ۷-۰ روزگی و تیمارهای تزریقی و امولسیون ویتامین D₃ نوع دوم، در ۱۴-۷، ۲۱-۱۴ روزگی و کل دوره، به صورت خطی و درجه دوم بهبود معنی‌داری نسبت به بقیه تیمارها داشت. منابع مختلف ویتامین D₃ نتوانست اثر معنی‌داری بر غلظت پلاسمایی گلوکز، کلسترول، تری‌گلیسیرید، آلبومین و پروتئین داشته باشد. در مقابل غلظت آسپاراتات آمینوترانسفراز با استفاده از ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ به شکل تزریقی و امولسیون نوع اول و دوم در روز و غلظت آلانین آمینوترانسفراز نیز با افزودن امولسیون ویتامین D₃ نوع دوم، کاهش خطی معنی‌داری را نسبت به بقیه نشان داد. همچنین تیمارهای دریافت‌کننده ویتامین D₃ به شکل تزریقی، امولسیون نوع اول و دوم غلظت پلاسمایی ویتامین D₃، کلسیم و فسفات را به صورت خطی و درجه دوم به طور معنی‌داری نسبت به بقیه تیمارها افزایش داد. در مجموع، افزودن ویتامین D₃ مازاد بر جیره تجاری، با توجه به فرم مصرف و مرحله رشد گوساله، می‌تواند از طریق بهبود عملکرد رشد، افزایش وضعیت ویتامین D و بهبود وضعیت کلسیم و فسفر و تعدیل برخی شاخص‌های بیوشیمیایی، در بهبود وضعیت متابولیکی و سلامت عمومی گوساله‌های شیرخوار مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: مقدار اضافی ویتامین D₃، گوساله‌های شیرخوار، عملکرد رشد، متابولیت‌های خونی، آنزیم‌های کبدی.

مقدمه

گوساله‌های شیرخوار، نمایانگر بهره‌وری آینده گله‌های شیری هستند و یک دارایی اقتصادی عمده برای تولیدکنندگان گاوشیری محسوب می‌شوند (Xu et al., 2021b). در نشخوارکنندگان، ساختار جفت مانع از انتقال ایمونوگلوبولین‌ها از مادر به جنین می‌شود و گوساله‌های تازه متولد شده را برای ایمنی غیرفعال به شدت به آغوز وابسته می‌کند (Sangild, 2003). علاوه بر این، افزایش سطح گلوکوکورتیکوئیدها در بدو تولد می‌تواند پاسخ‌های ایمنی سلولی را سرکوب کند (Sangild, 2003). در طول هفته‌های اول زندگی، گوساله‌ها از نظر فیزیولوژیکی به عنوان حیوانات تک معده‌ای عمل می‌کنند و رشد نابالغ دستگاه گوارش ممکن است هضم و جذب مواد مغذی را محدود کند. بنابراین، حمایت تغذیه‌ای کافی، از جمله ویتامین‌ها، پروتئین‌ها و انرژی، برای رشد و سلامت مطلوب ضروری است (Waldner and Blakley, 2014).

نتایج تحقیقات در خصوص تغذیه گوساله‌های شیرخوار نشان می‌دهد، تغذیه و مدیریت قبل از شیرگیری گوساله بر تقویت سیستم ایمنی و همچنین بیان ظرفیت ژنتیکی مناسب دام‌ها برای تولید شیر مؤثر می‌باشد (Soberon et al., 2012). عناصر کم‌مصرف جیره برای بهبود عملکرد سلول‌های ایمنی و بهبود راندمان رشد حیاتی هستند.

ویتامین‌ها، گروهی از ترکیبات آلی پیچیده هستند که به مقدار اندک جهت انجام متابولیسم طبیعی بدن، مورد نیاز می‌باشند (Huang and Ru, 2010). ویتامین‌ها، به صورت مستقیم یا غیرمستقیم تأثیر زیادی بر سلامتی و تندرستی بدن دارند. همچنین برای مراحل مختلف رشد و نمو ضروری بوده و عدم حضورشان در رژیم غذایی و یا جذب کم، ممکن است نشانه‌هایی از کمبود متابولیک ایجاد کند (Hans and Jana, 2018). هرچند ویتامین‌ها امکان دارد بر پایه منبع یا عملکردی که دارند دسته‌بندی شوند، اما متداول‌ترین دسته‌بندی مورد استفاده ویتامین‌ها مربوط به حلالیت شیمیایی آن‌ها می‌باشد؛ که بر این اساس ویتامین‌ها را به دودسته آب‌گریز (Hydrophobic) شامل ویتامین‌های A، E، D، B و k و آب‌دوست (Hydrophilic) شامل ویتامین‌های B و C طبقه‌بندی می‌کنند که به طور مستقیم با فرآیندهای جذب در ارتباط است. ویتامین‌های A، E، D را می‌توان فقط از طریق غذا به دام داد که ویتامین K به دلیل اینکه توسط میکروارگانیسم‌ها سنتز می‌شود نیازی به تأمین این ویتامین از طریق غذا نیست. همچنین طبق نظر (Nestor and Conrad, 1990) در صورتی که گوساله‌ها با شیدر کپک‌زده تغذیه نشده باشند نیازی به مکمل ویتامین K نمی‌باشد.

ویتامین D یکی از ویتامین‌های محلول در چربی است که تاکنون پنج نوع از این ویتامین کشف شده است D₁، D₂، D₃، D₄، D₅ که دو شکل D₂ و D₃ برای انسان و دام حائز اهمیت بیشتری هستند. ویتامین D₃ (کوله کلسیفرول) که منشأ حیوانی دارد و ویتامین D₂ (ارگوکلسیفرول) است که در قارچ‌ها و برخی گیاهان شکل می‌گیرد (Jäpelt and Jakobsen, 2013; Makris et al., 2020). ویتامین D₃ را می‌توان در پوست اکثر پستانداران (به جز سگ و گربه) با تبدیل فتوشیمیایی پیش ساز آن (۷-دهیدروکلسترول) سنتز کرد (Zafalon et al., 2020). ویتامین D₃ سنتز شده در پوست به خون آزاد می‌شود و با فشارهای حداقلی به پروتئین باند شده به ویتامین D (DBP) متصل می‌شود که نشان‌دهنده شکل اصلی انتقال ویتامین D در خون است (Duchow et al., 2019). درواقع حیوانات می‌توانند ویتامین D را از سه طریق تولید در پوست در معرض نور خورشید (UVB)، دریافت از طریق مکمل در جیره غذایی (به صورت D₂ یا D₃) و دریافت از طریق متابولیت فعال زیستی ۲۵-هیدروکسی ویتامین D₃ دریافت کنند.

ویتامین D₃ (کوله کلسیفرول) یکی از ویتامین‌های ضروری در تغذیه دام و طیور است که نقش حیاتی در متابولیسم کلسیم و فسفر، سلامت استخوان‌ها، عملکرد سیستم ایمنی و کیفیت محصولات دامی دارد. این ویتامین می‌تواند از طریق روش‌های مختلفی مانند تزریق زیر جلدی، اضافه شدن به جیره غذایی و امولسیون به حیوانات داده شود.

از لحاظ جذب و متابولیسم، روش تزریقی امکان جذب مستقیم و سریع ویتامین D₃ را فراهم می‌کند؛ اما در روش خوراکی، ویتامین D₃ خوراکی باید ابتدا در کبد و سپس در کلیه‌ها متابولیزه شود تا به شکل فعال تبدیل گردد. این فرآیند زمان‌بر بوده و سطح مؤثر ویتامین D₃ را در جریان خون کاهش می‌دهد. از جنبه‌های اقتصادی و عملی روش تزریقی نیاز به نیروی کار ماهر دارد و ممکن است باعث استرس، آسسه و التهاب در حیوانات شود. همچنین نسبت به دیگر روش‌ها هزینه‌بر می‌باشد. روش خوراکی ساده‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر است، اما ممکن است جذب آن تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ترکیب جیره قرار گیرد. با توجه به اینکه در روش تزریقی، ویتامین D₃ مستقیماً وارد خون می‌شود لذا خطر زیادی دوز و سمیت بیشتر است، اما در روش خوراکی به خاطر اینکه جذب ویتامین D₃ تدریجی صورت می‌گیرد بنابراین خطر سمیت کمتر می‌باشد. در اوایل زندگی، به علت عدم توسعه کامل شکمبه و محدودیت در مصرف خوراک جامد، شیر به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین‌کننده مواد مغذی برای گوساله‌ها شناخته می‌شود. شیر با فراهم کردن انرژی، پروتئین و سایر ترکیبات ضروری، نقش مهمی در رشد، سلامت و عملکرد مطلوب گوساله‌ها در این دوره دارد (Asadi et al., 2021). با این حال، از آنجاکه در اوایل زندگی، شیر به‌طور گسترده مصرف می‌شوند، به‌عنوان یک تغذیه ایده‌آل برای افزایش مصرف ویتامین D شناخته شده است. بنابراین می‌توان امولسیون ویتامین D₃ را به شیر مصرفی گوساله‌های شیرخوار مخلوط کرد، همچنین در روش امولسیون چربی‌ها به شکل مسیل درآمده و جذب گوارشی را بهبود می‌بخشد. از طرفی استفاده از امولسیون ویتامین D₃ نه نیاز به کارگر ماهر دارد و نه سبب استرس در گوساله‌ها می‌شود. بنابراین با استناد به مطالب بالا می‌توان گفت که استفاده از امولسیون ویتامین D₃، نسبت به روش تزریقی و خوراکی ارجحیت دارد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر منابع مختلف ویتامین D₃ بر عملکرد رشد، متابولیت‌های خونی و آنزیم‌های کبدی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین بررسی بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام رویه‌های آزمایشی در این مطالعه، مجوز رسمی از کمیته اخلاق رفاه حیوانات در دانشگاه محقق اردبیلی (اردبیل، ایران) دریافت شد که با شماره تأیید IR.UMA. 1403.101 مستند شده است. هم‌زمان، یک توافقنامه همکاری

رسمی منعقد شد که چارچوب مشارکت حیوانات را بین دانشگاه محقق اردبیلی و نهاد تجاری، شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان، تعیین می‌کرد.

تولید آزمایشگاهی امولسیون ویتامین D₃

تولید آزمایشگاهی امولسیون ویتامین D₃ محلول در چربی (کوله‌کلسیفرول) با استفاده از روش شرح داده‌شده توسط اصغری و همکاران (Asghari et al., 2021) با اصلاحات جزئی تهیه شد. از آمپول با دوز بالا (۳۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی در میلی‌لیتر؛ ساخت کارخانه داروپخش، ایران) به‌عنوان منبع ویتامین D₃ استفاده شد. به‌طور خلاصه، ۲۵ گرم لسیترین در ۲۵۰ میلی‌لیتر روغن‌زیتون به‌عنوان فاز لیپیدی حل شد و با استفاده از همزن مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سلسیوس برای تهیه فاز لیپیدی، و ۲ گرم صمغ عربی به همراه ۱۰ گرم پروتئین آب‌پنیر در آب مقطر با استفاده از هموژنایزر آزمایشگاهی (۳۰۰۰ دور در دقیقه) به مدت ۱۵ دقیقه برای تهیه فاز آبی حل شد. پس‌از آن، فاز لیپیدی قطره‌قطره به فاز آبی اضافه شد و به‌آرامی مخلوط شد و سپس آب مقطر اضافه شد تا ۱۰۰۰ میلی‌لیتر حجم نهایی به دست آید. دو نوع امولسیون ویتامین D₃ با تفاوت در ترکیب فاز لیپیدی تهیه شد. در امولسیون نوع اول، ویتامین D₃ بدون استفاده از روغن‌زیتون به سیستم امولسیونی منتقل شد، در حالی که در امولسیون نوع دوم، ویتامین D₃ در فاز لیپیدی حاوی روغن‌زیتون و لسیترین قرار گرفت و سپس با فاز آبی حاوی صمغ عربی و پروتئین آب‌پنیر امولسیون شد. سایر مراحل تهیه، شامل آماده‌سازی فاز آبی، اختلاط فازها و رساندن حجم نهایی به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر، مطابق روش توصیف‌شده انجام شد. امولسیون تهیه‌شده برای اندازه‌گیری اندازه ذرات با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) و پراکنش دینامیک نوری (DLS) استفاده شد. امولسیون حاصل در یک ظرف پلاستیکی غیرشفاف قرار داده شد. محصول نهایی حاوی ۵۰ میلی‌گرم ویتامین D₃ در هر میلی‌لیتر محیط امولسیون بود. یک محیط امولسیون بدون ویتامین D₃ تهیه و برای تیمار شاهد استفاده شد. پس از ۳ هفته نگهداری در دمای اتاق، اندازه قطرات امولسیون ویتامین D₃ با استفاده از روش پراکنش دینامیک نوری اندازه‌گیری شد و چگالی بار سطحی آن‌ها (پتانسیل زتا) با استفاده از فن پراکندگی نور الکتروفوریتیک (nanoPartica SZ-100V2 Series, HORIBA Scientific Instrument, Kyoto, Japan) تعیین شد. مشخصات قطرات امولسیون تهیه‌شده در جدول ۱ نشان داده‌شده است. پایداری امولسیون به‌صورت درصد لایه خامه‌ای پس از سه هفته نگهداری اندازه‌گیری شد.

حیوان و جیره آزمایشی

این پژوهش در مجتمع دامپروری شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان واقع در استان اردبیل، شهرستان پارس آباد انجام شد. بدین منظور از ۴۰ رأس گوساله ماده شیرخوار هشتتین با میانگین سنی 2 ± 30 روز و میانگین وزنی 1 ± 59 کیلوگرم در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و ۸ تکرار به مدت ۲۱ روز استفاده گردید. گوساله‌ها بر اساس جنسیت، وزن بدن و سن تولد انتخاب و به ۵ گروه آزمایشی ۸ رأسی تقسیم شدند و سپس هر گروه به‌طور کاملاً تصادفی به یکی از جیره‌های آزمایشی اختصاص داده شد.

جدول ۱- مشخصات امولسیون ویتامین D₃

Table 1. The emulsified vitamin D₃ characteristics^a

پایداری (%) Stability (%)	پتانسیل زتا (میلی ولت) Zeta potential ^c (mV)	میانگین زتا (نانومتر) Z-average (nm)	اندازه قطرات (نانومتر) Droplet size (nm) ^b
100 ^d	24.2 ± 4.4	195 ± 5.3	193.4 ± 88.2
میانگین ± انحراف معیار Mean ± SD			

a میزان رقت نمونه‌ها ۱ به ۱۰۰۰

b اندازه گیری شده براساس روش پراکنش دینامیک نوری

c پتانسیل زتا با استفاده از تکنیک پراکندگی نور الکتروفوریتیک (ELS) اندازه‌گیری شد.

d به عنوان درصد لایه خامه‌ای تشکیل شده پس از دو ماه اندازه‌گیری شد.

SD: انحراف معیار

^aSamples: dilution 1:1000.

^b Measured by dynamic light scattering technique.

^cThe zeta potential was measured using the electrophoretic light scattering (ELS) technique.

^d measured as the percentage of creaming layer formed after two months.

SD: standard deviation

تیمارهای آزمایشی شامل: (۱) گروه کنترل (جیره پایه): دریافت‌کننده جیره پایه تجاری بدون دریافت ویتامین D₃ اضافی، (2) جیره پایه تجاری + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ به‌صورت خوراکی، (۳) جیره پایه تجاری + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ به شکل تزریقی، (۴) جیره پایه تجاری + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ امولسیون نوع اول، (۵) جیره پایه تجاری + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ امولسیون نوع دوم، مخلوط‌شده با شیر در روز بودند.

جیره پایه تجاری مورد استفاده در این مطالعه حاوی مکمل ویتامینه با غلظت ۱۰۰,۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ در هر کیلوگرم مکمل بود. با توجه به استفاده از مکمل ویتامینه به میزان ۰,۵ درصد جیره، مقدار ویتامین D₃ تأمین‌شده از این منبع معادل ۵۰۰ واحد بین‌المللی در هر کیلوگرم خوراک آغازین بود. بنابراین، تیمارهای آزمایشی دریافت‌کننده ویتامین D₃.

علاوه بر مقدار موجود در جیره پایه، روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ به‌عنوان مکمل یا دوز اضافی دریافت کردند. با توجه به مقدار توصیه‌شده دریافت ویتامین D₃ برای گوساله‌های جوان (۳۲ واحد بین‌المللی به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز) (NASEM, 2021) و با در نظر گرفتن وجود ویتامین D₃ در جیره پایه تجاری، مقدار ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ در روز به‌عنوان مکمل یا دوز اضافی انتخاب شد تا اثر افزایش دریافت ویتامین D₃ در قالب‌های مختلف مصرف بر عملکرد و شاخص‌های متابولیکی گوساله‌ها ارزیابی شود (Cheshm Berah et al., 2026). هرکدام از گوساله‌های آزمایشی موجود در گروه‌های پنج‌گانه در جایگاه‌های انفرادی نگهداری شده و هر جایگاه مجهز به آخور و آبخوری مجزا بود. جایگاه مسقف و دارای کف بتنی بوده و قبل از انتقال گوساله‌ها به جایگاه، کف و محوطه جایگاه شستشو و آهک پاشی شده و پس از خشک‌کردن، کف هر جایگاه با پوشال پوشانده شد. کودبرداری جایگاه‌ها هر روز قبل از شیردهی وعده صبح، انجام گرفت و پس از هر بار کودبرداری، کاه بر سطح جایگاه ریخته شد. شیردهی در این گوساله‌ها روزانه در دو نوبت (ساعت ۸ صبح و ساعت ۱۶ عصر) به میزان ۱۰ درصد وزن بدن انجام شد. جیره آغازین نیز هم‌زمان با شروع پژوهش، پس از توزین در اختیار تیمارها قرار داده شد. همچنین آب آشامیدنی همراه با جیره آغازین به‌صورت مصرف آزاد در اختیار گوساله‌ها قرار گرفت و تنها یک ساعت قبل تا یک ساعت پس از شیردهی از دسترسی گوساله‌ها به آب جلوگیری به عمل آمد. قابل‌ذکر است که در تیمار تزریقی هم‌زمان با شروع طرح عمل تزریق ویتامین D₃ به‌صورت روزانه انجام شد و در تیمارهای که از امولسیون ویتامین D₃ استفاده می‌کردند ماده مذکور هر روز در شیر وعده صبحگاهی مخلوط و در اختیار گوساله قرار داده شد. جیره‌های آزمایشی و ترکیب شیمیایی آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- اقلام و ترکیب شیمیایی جیره آغازین گوساله‌های شیرخوار هلشتاین^۱

Table 2 - Ingredients and chemical composition of starter diets for suckling Holstein calves¹

اقلام خوراکی Feed ingredients	تیمارهای آزمایشی Exprimental treatments				
	گروه کنترل (جیره پایه) Basal Diets	تیمار دوم Treatment 2	تیمار سوم Treatment 3	تیمار چهارم Treatment 4	تیمار پنجم Treatment 5
دانه ذرت corn grain	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5
دانه جو barley grain	12	12	12	12	12
سیوس گندم Wheat bran	5	5	5	5	5
کنجاله سویا Soybean meal	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6
نمک Salt	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
سدیم بی‌کربنات Sodium bicarbonate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
پودر صدف	1	1	1	1	1

Seashell powder مکمل ویتامینه ^۱	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Vitamin supplement ¹ مکمل معدنی ^۲	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Mineral supplement ² مجموع	100	100	100	100	100
Sum ترکیب شیمیایی جیره پایه					
Chemical composition of basal diets					
ماده خشک (%)	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0
Dry matter (%)					
پروتئین خام (%)	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8
Crude protein (%)					
عصاره اتری (%)	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8
Ether extract (%)					
الیاف نامحلول در شوینده خنثی (%)	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
ADF (%)					
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (%)	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
NDF (%)					
کلسیم (%)	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Calsium (%)					
فسفر (%)	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
Phosphorus (%)					
ویتامین D3 (IU/kg)	600	1600	1600	1600	1600
D3 Vitamins (IU/kg)					

تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) کنترل (جیره پایه): دریافت کننده جیره پایه تجاری بدون دریافت ویتامین D₃ اضافی، تیمار دوم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین المللی مکمل ویتامین D₃ به صورت خوراکی، تیمار سوم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین المللی مکمل ویتامین D₃ به شکل تزریقی، تیمار چهارم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین المللی مکمل ویتامین D₃ امولسیون نوع اول و تیمار پنجم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین المللی مکمل ویتامین D₃ امولسیون نوع دو

^۱ ترکیب مکمل ویتامینه: ویتامین A، 500000 واحد بین المللی در کیلوگرم؛ ویتامین E، 100 میلی گرم در کیلوگرم؛ ویتامین D₃ 100000 واحد بین المللی در کیلوگرم؛

^۲ ترکیب مکمل معدنی: کلسیم 195000 میلی گرم؛ فسفر 90000 میلی گرم؛ منیزیم 90000 میلی گرم؛ سدیم 55000 میلی گرم؛ روی 3000 میلی گرم؛ آهن 300 میلی گرم؛ منگنز 2000 میلی گرم؛ مس 280 میلی گرم؛ کبالت 100 میلی گرم؛ سلنیوم 1 میلی گرم؛ آنتی اکسیدانت 400 میلی گرم

Experimental treatments included: 1) Control group (basal diet): receiving commercial basal diet without additional vitamin D₃, 2) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement orally, 3) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in injectable form, 4) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in emulsion type I, 5) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in emulsion type II.

¹ Vitamin supplement composition: Vitamin A, 500,000 IU/kg; Vitamin E, 100 mg/kg; Vitamin D₃ 100,000 IU/kg;

² Mineral supplement composition: Calcium 195,000 mg; Phosphorus 90,000 mg; Magnesium 90,000 mg; Sodium 55,000 mg; Zinc 3,000 mg; Iron 300 mg; Manganese 2,000 mg; Copper 280 mg; Cobalt 100 mg; Selenium 1 mg; Antioxidant 400 mg.

جهت تعیین مقدار خوراک مصرفی، قبل از ریختن خوراک آغازین، باقیمانده خوراک روز قبل جمع آوری، توزین و ثبت شد.

جهت بررسی تغییرات وزن، همه گوساله ها در ابتدای آزمایش تعیین وزن شدند، همچنین هر دو هفته یکبار با اعمال محرومیت

قبلی (۱۴-۱۲ ساعت) از آب و خوراک، وزن کشی شدند. نمونه های خون در دو نوبت در ابتدا و انتهای طرح از طریق ورید

جگولار با استفاده از لوله های خلاء، ۴ ساعت پس از تغذیه صبحگاهی (بعد از غذا) جمع آوری شدند. نمونه ها در دو نوع لوله

جمع آوری شدند: لوله های بدون ضد انعقاد برای جداسازی سرم و لوله های هپارینه برای تجزیه و تحلیل خون کامل (نوبین

آرما پژوهان، اردیبهشت، ایران). پس از جمع آوری، نمونه های خون بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت

۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سرم جدا شده و تا زمان تجزیه و تحلیل بیوشیمیایی بیشتر در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شد.

پارامترهای بیوشیمیایی سرم، شامل گلوکز، تری گلیسیرید، کلسترول تام، آلبومین، پروتئین، آلانین آمینوترانسفراز و آسپاراتات آمینوترانسفراز با استفاده از کیت‌های تشخیصی تجاری تهیه شده از شرکت پارس آزمون، تهران، ایران، طبق دستورالعمل سازنده تجزیه و تحلیل شدند. غلظت کلسیم و فسفر سرم نیز با استفاده از کیت‌های سنجش تجاری (شرکت پارس آزمون، تهران، ایران) تعیین شد. غلظت سرمی ۲۵-هیدروکسی ویتامین D (25(OH)D با استفاده از کیت ELISA تجاری (کد: A۳۰۰-۹۴۲۵، Lake Forest, Monobind Inc، کالیفرنیا ۹۲۶۳۰، ایالات متحده آمریکا) طبق پروتکل سازنده تعیین شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار (SAS, 2003) انجام شد. داده‌های تکرارشونده از جمله عملکرد رشدی گوساله با استفاده از رویه Mixed و داده‌های فراسنجه‌های خونی نیز با استفاده از GLM آنالیز شدند. برای مقایسه میانگین‌ها از روش LSMEANS استفاده شد و سطح احتمال ۵ درصد به عنوان سطح معنی‌داری در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

مشخصات فیزیکیوشیمیایی ویتامین D₃ امولسیون شده

ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی امولسیون تهیه‌شده سه هفته پس از آماده‌سازی در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از پراکندگی نور دینامیکی (DLS)، میانگین اندازه ذرات امولسیون ویتامین D₃ برابر با ۱۳۹/۴ نانومتر بود. همچنین، فرمولاسیون طی دو ماه نگهداری در شرایط محیطی، پایداری ۱۰۰ درصدی خود را حفظ کرد. مقدار متوسط پتانسیل زتا نیز برابر با ۲۴/۲+ میلی‌ولت بود که نشان‌دهنده پایداری مناسب سیستم امولسیونی در برابر تجمع و به هم پیوستن ذرات است.

اندازه ذرات به دست آمده در محدوده سامانه‌های امولسیونی ریزدانه قرار می‌گیرد و می‌تواند از نظر افزایش سطح تماس ترکیب لیپوفیل با محیط آبی دستگاه گوارش حائز اهمیت باشد. ویتامین D₃ یک ترکیب محلول در چربی با حلالیت بسیار پایین در محیط‌های آبی است و همین ویژگی می‌تواند جذب خوراکی آن را محدود کند. تبدیل ویتامین D₃ به یک سیستم امولسیونی با قطرات کوچک، سطح تماس آن با محیط آبی را افزایش داده و می‌تواند پراکندگی، تشکیل میسل و انتقال ویتامین به سطح

جذب روده را تسهیل کند. گزارش‌های پیشین نیز نشان داده‌اند که فرمولاسیون‌های نانوامولسیون و میسلی ویتامین D₃، به دلیل افزایش پراکندگی و زیست‌فراهمی ترکیب لیپوفیل، می‌توانند نسبت به فرم‌های معمول ویتامین D₃ جذب بیشتری داشته باشند (Marwaha and Dabas, 2019). بنابراین، پایداری مناسب و اندازه ذرات نسبتاً کوچک امولسیون حاضر می‌تواند یکی از دلایل احتمالی عملکرد بهتر تیمارهای امولسیونی در بخش‌های مربوط به رشد و وضعیت ویتامین D₃ خون باشد. با این حال، برای اثبات افزایش زیست‌فراهمی، اندازه‌گیری مستقیم پارامترهای فارماکوکینتیکی یا مقایسه سطح D₃۲۵ (OH) در زمان‌های مختلف پس از مصرف ضروری است.

عملکرد رشد

نتایج اثر شکل‌های مختلف ویتامین D₃ بر عملکرد رشد گوساله‌های شیرخوار هلشتاین در جدول ۳ ارائه شده است. وزن اولیه گوساله‌ها در بین تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت و مقادیر آن در دامنه ۵۸/۹۸ تا ۵۹/۰۸ کیلوگرم قرار گرفت؛ بنابراین، گوساله‌ها در آغاز آزمایش از نظر وزن بدن شرایط نسبتاً مشابهی داشتند و تفاوت‌های مشاهده‌شده در ادامه دوره را می‌توان با اطمینان بیشتری به تیمارهای آزمایشی نسبت داد.

وزن بدن

در روزهای صفر تا هفت، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد؛ اگرچه وزن گوساله‌ها از ۶۲/۹۳ کیلوگرم در گروه شاهد به ۶۴/۴۰ کیلوگرم در تیمار امولسیون نوع دوم افزایش یافت. در روزهای ۷ تا ۱۴، وزن گوساله‌های تیمارهای تزریقی و امولسیون نوع دوم به ترتیب ۷۰/۷۸ و ۷۰/۸۸ کیلوگرم بود و این مقادیر از گروه شاهد با وزن ۶۷/۵۵ کیلوگرم بیشتر بود. در دوره ۱۴ تا ۲۱ روزگی نیز گوساله‌های تیمارهای تزریقی و امولسیون نوع دوم با مقادیر ۷۷/۱۳ و ۷۷/۰۵ کیلوگرم، بیشترین وزن بدن را داشتند، در حالی که وزن گوساله‌های گروه شاهد ۷۲/۴۳ کیلوگرم بود. بنابراین، پاسخ رشد به مکمل ویتامین D₃ به‌ویژه از هفته دوم آزمایش آشکارتر شد و فرم تزریقی و امولسیون نوع دوم بیشترین پاسخ را ایجاد کردند.

این یافته با گزارش Xu و همکاران (Xu et al., 2021a) همخوانی دارد که افزایش وزن بدن و ارتفاع جدوگاه گوساله‌ها را در پاسخ به مصرف ویتامین D₃ و D₃۲۵ (OH) گزارش کردند. همچنین Wang و همکاران (Wang et al., 2022)

نشان دادند که مصرف $D_3 25 (OH)$ در گوساله‌های پیش از شیرگیری موجب افزایش خطی افزایش وزن روزانه و بهبود بازده خوراک شد. در مطالعه حاضر نیز افزایش وزن بدن در تیمارهای دریافت‌کننده ویتامین D_3 ، به‌ویژه فرم تزریقی و امولسیون نوع دوم، می‌تواند ناشی از افزایش فراهمی ویتامین D_3 و در پی آن بهبود متابولیسم کلسیم و فسفر باشد. افزایش این دو ماده معدنی برای معدنی‌شدن استخوان و رشد بافت‌های بدن ضروری است و احتمالاً بخشی از پاسخ رشد مشاهده‌شده در گوساله‌های این آزمایش را توضیح می‌دهد.

افزایش وزن روزانه

مقدار افزایش وزن روزانه در تمام دوره‌های ارزیابی شده تحت تأثیر تیمار قرار گرفت. در هفته اول، ADG از 0.056 کیلوگرم در روز در گروه شاهد به 0.078 کیلوگرم در روز در تیمار امولسیون نوع دوم افزایش یافت. در دوره ۷ تا ۱۴ روزگی نیز بیشترین ADG مربوط به تیمارهای تزریقی و امولسیون نوع دوم بود و در کل دوره ۰ تا ۲۱ روزگی، مقادیر 0.088 و 0.075 کیلوگرم در روز به‌ترتیب در این دو تیمار مشاهده شد، در حالی که مقدار مربوط به گروه شاهد 0.063 کیلوگرم در روز بود.

افزایش ADG در پاسخ به ویتامین D_3 با نتایج Xu و همکاران (Xu et al., 2021a) و Wang و همکاران (Wang et al., 2022) در گوساله‌ها مطابقت دارد. در مطالعه Wang و همکاران، افزایش ADG در اثر مصرف $D_3 25 (OH)$ با افزایش وضعیت ویتامین D و مواد معدنی پلاسما همراه بود. همچنین در مطالعه Xu و همکاران (Xu et al., 2021a)، مکمل‌سازی ویتامین D_3 و $D_3 25 (OH)$ موجب بهبود رشد گوساله‌ها شد. در پژوهش حاضر، بیشترین پاسخ در فرم تزریقی و امولسیون نوع دوم مشاهده شد؛ احتمالاً به این دلیل که این دو روش می‌توانند نسبت به مصرف خوراکی معمولی، دریافت مؤثرتر و یکنواخت‌تری از ویتامین D_3 ایجاد کنند. در مورد امولسیون نوع دوم، اندازه کوچک قطرات و افزایش سطح تماس ویتامین D_3 با محیط آبی دستگاه گوارش می‌تواند انتقال آن به سطح جذب روده را تسهیل کند. از این رو، افزایش زیست‌فراهمی ویتامین D_3 و بهبود متعاقب وضعیت کلسیم و فسفر می‌تواند توضیح مناسبی برای افزایش ADG در این تیمار باشد.

مصرف خوراک

مصرف خوراک در هفته اول در تیمارهای امولسیون نوع اول و دوم بیشتر از گروه شاهد بود. در هفته دوم نیز مصرف خوراک در تیمارهای تزریقی و هر دو نوع امولسیون افزایش یافت. در دوره ۱۴ تا ۲۱ روزگی، بیشترین مصرف خوراک در

تیمارهای دریافت‌کننده ویتامین D₃ مشاهده شد و در کل دوره نیز مصرف خوراک از ۰/۹۴ کیلوگرم در روز در گروه شاهد به ۱/۰۵، ۱/۰۶ و ۱/۰۶ کیلوگرم در روز در تیمارهای تزریقی، امولسیون نوع اول و امولسیون نوع دوم افزایش یافت.

افزایش مصرف خوراک با یافته‌های برخی مطالعات پیشین درباره اثر مثبت وضعیت ویتامین D₃ بر رشد و مصرف مواد مغذی مطابقت دارد. Xu و همکاران (Xu et al., 2021a) نیز افزایش مصرف استارتر را در گوساله‌هایی که (OH)D₃۲۵ دریافت کردند گزارش کردند. همچنین Wang و همکاران (Wang et al., 2022) بهبود عملکرد رشد و بازده خوراک را در گوساله‌های دریافت‌کننده (OH)D₃۲۵ نشان دادند. افزایش مصرف خوراک در پژوهش حاضر احتمالاً بیشتر پیامد ثانویه رشد سریع‌تر و وضعیت بهتر متابولیکی گوساله‌ها است تا یک اثر مستقیم ویتامین D₃ بر مرکز اشتها. افزایش فراهمی کلسیم و فسفر و بهبود شرایط متابولیکی ممکن است نیازهای رشد گوساله را بهتر تأمین کرده و در نتیجه مصرف خوراک را افزایش داده باشد. بنابراین، افزایش مصرف خوراک و افزایش وزن مشاهده‌شده در این مطالعه احتمالاً به‌صورت متقابل با یکدیگر ارتباط داشته‌اند.

ضریب تبدیل غذایی

ضریب تبدیل غذایی در گوساله‌های دریافت‌کننده ویتامین D₃ نسبت به گروه شاهد بهبود یافت. بهترین عملکرد در هفته اول و کل دوره آزمایش مربوط به تیمار امولسیون نوع دوم بود؛ به‌طوری که FCR کل دوره از ۱/۴۹ در گروه شاهد به ۱/۲۱ در تیمار امولسیون نوع دوم کاهش یافت. تیمار تزریقی نیز با مقدار ۱/۱۹ بهترین مقدار عددی را در جدول نشان داد.

بهبود بازده خوراک با گزارش Wang و همکاران (Wang et al., 2022) مبنی بر بهبود feed efficiency در گوساله‌های دریافت‌کننده (OH)D₃۲۵ مطابقت دارد. با این حال، Xu و همکاران (Xu et al., 2021a) در مطالعه‌ای دیگر اثر معنی‌داری بر بازده خوراک در کل دوره مشاهده نکردند، که نشان می‌دهد پاسخ به منابع مختلف ویتامین D₃ می‌تواند به شکل مکمل، دوز، سن گوساله و شرایط تغذیه‌ای وابسته باشد. در مطالعه حاضر، کاهش FCR در تیمارهای تزریقی و امولسیونی احتمالاً ناشی از افزایش هم‌زمان مصرف خوراک و افزایش وزن روزانه بوده است؛ به بیان دیگر، گوساله‌های این تیمارها توانستند بخش بیشتری از مواد مغذی مصرف‌شده را به رشد بدن اختصاص دهند. در امولسیون نوع دوم، فراهمی زیستی بالاتر ویتامین D₃ نیز می‌تواند در بهبود استفاده از مواد مغذی نقش داشته باشد.

در ضمن افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک و ضریب تبدیل غذایی در تیمار دریافت‌کننده ویتامین D₃ به شکل خوراکی نیز نسبت به تیمار شاهد بهبود پیدا کرد ولی معنی‌دار نبود. در این پژوهش مکمل سازی ویتامین D₃ در تیمارها در مقایسه با گروه شاهد افزایش معنی داری را در غلظت کلسیم و فسفر خون داشت. زیرا که ویتامین D₃ با مکانیسم‌های مختلفی سبب بهبود افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک و ضریب تبدیل غذایی در حیوانات می‌شود. این تأثیرات عمدتاً از طریق تنظیم متابولیسم کلسیم و فسفر، تأثیر بر سیستم هورمونی و بهبود سلامت عمومی بدن صورت می‌گیرد. به‌عنوان مثال طبق تحقیقات محققین ویتامین D₃ جذب کلسیم، فسفر و سایر مواد معدنی را در روده افزایش می‌دهد؛ که این مواد برای سنتز پروتئین، رشد عضلات و توسعه اسکلت استخوانی ضروری هستند. لذا با بهبود جذب مواد مغذی در حیوانات، رشد سریع‌تر شده و سبب افزایش توده عضلانی می‌شود. گوساله‌ها در حضور سطح بهینه بیش از نیاز ویتامین D₃ انرژی کمتری برای مقابله با استرس ایمنی هدر می‌دهند. جذب سلولی گلوکز و آمینواسیدها را به دلیل حساسیت انسولینی بهتر، بهبود می‌بخشند. سیگنالینگ رشد را تقویت می‌کنند (Wang et al., 2022). بررسی سطح سرمی کلسیم و فسفر خون در پایان دوره ۲۱ روزه می‌تواند این فرضیه را که تغییرات در سطح مولکولی بوده است، تأیید کند.

کمبود ویتامین D₃ منجر به کاهش جذب کلسیم و فسفر از روده می‌شود؛ که پایین بودن سطح کلسیم خون باعث می‌شود تا فعالیت غده پاراتیروئید (هیپرپاراتیروئیدیسم ثانویه) بیش‌ازحد شود؛ که فعالیت بیش‌ازحد غده پاراتیروئید سبب کاهش اشتها و اختلال در مصرف خوراک می‌شود. بنابراین تأمین کافی ویتامین D₃ از این اختلال جلوگیری کرده و مصرف خوراک را بهبود می‌بخشد. از طرفی امکان دارد که ویتامین D₃ بر سیستم عصبی مرکزی تأثیر گذاشته و با تنظیم انتقال‌دهنده‌های عصبی مانند دوپامین و سروتونین، رفتار تغذیه‌ای را بهبود بخشد و باعث افزایش مصرف خوراک شود. همچنین در صورت کمبود ویتامین D₃، بدن انرژی بیشتری را صرف جبران کمبود کلسیم و فسفر می‌کند (مثلاً با تجزیه استخوان‌ها). با تأمین کافی این ویتامین، انرژی صرف رشد مؤثر شده و ضریب تبدیل غذایی بهبود پیدا می‌کند.

در مطالعه وی و همکاران (Wei et al., 2024) اعلام کردند که افزودن ۱۲۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ در هر کیلوگرم جیره طیور در سن ۱-۴۳ روزگی، میانگین افزایش وزن روزانه و مصرف روزانه خوراک را به‌صورت عددی نسبت به تیمار شاهد افزایش داد ($P < 0.05$). در مطالعه‌ای دیگر چشم براه و همکاران (Cheshmberah et al., 2026) عنوان کردند که افزودن ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی امولسیون ویتامین D₃ در شیر گوساله‌های ماده شیرخوار اثر خطی معنی‌داری را برافزایش

وزن روزانه و خوراک مصرفی نشان داد. همچنین ضریب تبدیل خوراک را نیز کاهش داد هرچند معنی‌دار نبود. زو و همکاران (Xu et al., 2021a) نیز گزارش کردند که استفاده از ویتامین D₃ و ۲۵ هیدروکسی D₃ به ترتیب ۳۰۰ و ۱,۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در روز باعث افزایش میانگین افزایش وزن روزانه در گوساله‌های دریافت‌کننده گردید. در مطالعه‌ای دیگر در این خصوص وانگ و همکاران (Wang et al., 2022) اعلام کردند که افزودن ۶۰۰۰ واحد بین‌المللی در روز، ۲۵-هیدروکسی D₃ در شیر گوساله‌های شیرخوار، افزایش وزن روزانه و بازده خوراک را از ۸-۱۰ هفتگی به‌صورت خطی افزایش داد (P=۰/۰۱۳). در کل نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ۲۵ هیدروکسی D₃ و ویتامین D₃ می‌تواند به‌طور مؤثری باعث بهبود عملکرد رشد گوساله‌ها شود.

کنراد (Conrad, 1983) به این نتیجه رسیدند گاوهایی که ۴۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ در روز (۵۰ تا ۷۰ واحد بین‌المللی ویتامین D به ازای هر کیلوگرم وزن بدن) استفاده کرده بودند، مقدار خوراک مصرفی بیشتری نسبت به گروه کنترل داشتند. در مطالعه آلوارز دلگادو و همکاران (Álvarez-Delgado et al., 2023) نتایج حاصل حاکی از آن است که افزودن ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D در هر کیلوگرم جیره عادت دهی و ۲۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D در هر کیلوگرم جیره آغازین در خوک‌ها، میانگین افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل غذایی عملکرد بهتری را نسبت به تیمار شاهد نشان داد.

سازوکار احتمالی برتری فرم امولسیون ویتامین D₃

یکی از یافته‌های مهم پژوهش حاضر، عملکرد بهتر امولسیون نوع دوم نسبت به فرم خوراکی معمولی و در برخی شاخص‌ها مشابه یا نزدیک به فرم تزریقی بود. این تفاوت را می‌توان از نظر فیزیکیوشیمیایی و زیست‌فراهمی ویتامین D₃ تفسیر کرد. ویتامین D₃ یک ماده لیپوفیل است و حلالیت پایینی در محیط‌های آبی دستگاه گوارش دارد. در فرم معمولی، جذب آن به هضم چربی، تشکیل میسل و انتقال ترکیب به سطح انتروسیته‌ها وابسته است. امولسیفیکاسیون، ویتامین D₃ را در قطرات بسیار کوچک پراکنده می‌کند و در نتیجه سطح تماس آن با محیط آبی افزایش می‌یابد. پس از ورود به دستگاه گوارش، این ساختار می‌تواند دسترسی ویتامین D₃ به فرایندهای هضم چربی و تشکیل میسل را تسهیل کرده و انتقال آن به سطح سلول‌های روده را افزایش دهد. مرورهای منتشرشده درباره نانوامولسیون ویتامین D₃ نیز افزایش جذب و زیست‌فراهمی این شکل‌های دارورسانی را نسبت به فرم‌های معمول ویتامین D₃ گزارش کرده‌اند (Marwaha and Dabas, 2019).

در پژوهش حاضر، اندازه متوسط ذرات امولسیون ۱۳۹/۴ نانومتر بود که نشان می‌دهد ویتامین D₃ در قالب ذرات نسبتاً کوچک در محیط پراکنده شده است. بنابراین، می‌توان فرض کرد که این ویژگی فیزیکی موجب افزایش سطح تماس ویتامین با محیط گوارشی و در نتیجه افزایش جذب آن شده است. افزایش معنی‌دار غلظت ویتامین D₃ خون در تیمارهای تزریقی و امولسیون‌ی این تفسیر را تقویت می‌کند. با این حال، از آنجا که در مطالعه حاضر میزان جذب واقعی ویتامین D₃ یا پارامترهای فارماکوکینتیکی مستقیماً اندازه‌گیری نشده است، این توضیح باید به عنوان مکانیسم احتمالی مطرح شود و نه یک نتیجه قطعی.

متابولیت‌های خونی و آنزیم‌های کبدی

نتایج جدول ۴ نشان داد که استفاده از منابع مختلف ویتامین D₃ اثر معنی‌داری بر غلظت گلوکز، کلسترول، تری‌گلیسیرید، آلبومین و پروتئین کل خون نداشت. بنابراین، اگرچه مکمل‌سازی ویتامین D₃ موجب تغییر در عملکرد رشد و برخی شاخص‌های مرتبط با متابولیسم مواد معدنی شد، این اثر به تغییر معنی‌دار در متابولیت‌های عمومی خون منجر نشد. این یافته نشان می‌دهد که پاسخ گوساله‌ها به مکمل ویتامین D₃ در این آزمایش بیشتر در محور متابولیسم مواد معدنی، رشد و وضعیت ویتامین D₃ ظاهر شده است تا تغییر گسترده در متابولیسم انرژی و پروتئین.

جدول ۳- اثرات استفاده از مقدار اضافی ویتامین D₃ به صورت‌های مختلف در جیره پایه تجاری بر عملکرد رشد گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 3- Effects of different forms of supplemental vitamin D₃ in a basal diet on growth performance of suckling Holstein calves

	گروه کنترل (جیره پایه) Basal Diets	تیمار دوم Treatment 2	تیمار سوم Treatment 3	تیمار چهارم Treatment 4	تیمار پنجم Treatment 5	SEM ¹	P-value ²		
							M	L	Q
وزن اولیه Initial weight	59.00	58.98	59.08	58.98	58.98	0.763	1.000	0.994	0.961
وزن ۷-۰ روزگی Weight 0-7 days	62.93	63.53	64.00	64.13	64.40	0.768	0.225	0.254	0.761
وزن ۱۴-۷ روزگی Weight 7-14 days	67.55 ^b	68.43 ^b	70.78 ^a	69.75 ^{ab}	70.88 ^a	0.729	0.009	0.015	0.212
وزن ۲۱-۱۴ روزگی Weight 14-21 days	72.43 ^c	74.00 ^{bc}	77.13 ^a	75.63 ^{ab}	77.05 ^a	0.715	0.005	0.001	0.048
میانگین افزایش وزن روزانه ۷-۰ روزگی ADG ³ 0-7 days	0.56 ^e	0.65 ^d	0.70 ^c	0.74 ^b	0.78 ^a	0.007	0.001	0.001	0.009
میانگین افزایش وزن روزانه ۱۴-۷ روزگی ADG 7-14 days	0.66 ^c	0.70 ^c	0.97 ^a	0.80 ^b	0.925 ^a	0.017	0.001	0.001	0.001
میانگین افزایش وزن روزانه ۲۱-۱۴ روزگی ADG	0.66 ^c	0.70 ^c	0.97 ^a	0.80 ^b	0.925 ^a	0.017	0.001	0.001	0.001
میانگین افزایش وزن روزانه ۲۱-۰ روزگی ADG 0-21 days	0.63 ^d	0.67 ^c	0.88 ^a	0.78 ^b	0.875 ^a	0.009	0.001	0.001	0.001
مصرف خوراک ۷-۰ روزگی	0.77 ^b	0.80 ^{ab}	0.80 ^{ab}	0.82 ^a	0.83 ^a	0.013	0.009	0.015	0.886

Feed intake 0-7 days

مصرف خوراک ۷-۱۴ روزگی	0.91 ^b	0.93 ^b	1.04 ^a	1.01 ^a	1.02 ^a	0.011	0.001	0.001	0.780
Feed intake 7-14 days									
مصرف خوراک ۱۴-۲۱ روزگی	1.14 ^c	1.23 ^a	1.34 ^a	1.32 ^a	1.345 ^a	0.025	0.001	0.001	0.044
Feed intake 14-21 days									
کل خوراک مصرفی	0.94 ^c	0.98 ^b	1.05 ^a	1.05 ^a	1.06 ^a	0.009	0.001	0.001	0.015
Feed intake 0-21 days									
ضریب تبدیل غذایی ۷-۲۱ روزگی	1.37 ^d	1.23 ^c	1.13 ^b	1.11 ^{ab}	1.071 ^a	0.017	0.001	0.001	0.003
FCR ⁴ 0-7 days									
ضریب تبدیل غذایی ۷-۱۴ روزگی	1.38 ^c	1.32 ^{bc}	1.07 ^a	1.26 ^b	1.10 ^a	0.023	0.001	0.001	0.001
FCR 0-7 days									
ضریب تبدیل غذایی ۱۴-۲۱ روزگی	1.72 ^b	1.75 ^b	1.39 ^b	1.65 ^a	1.46 ^a	0.039	0.003	0.005	0.012
FCR 0-7 days									
ضریب تبدیل غذایی ۲۱-۳۰ روزگی	1.49 ^d	1.43 ^c	1.19 ^b	1.34 ^a	1.21 ^a	0.017	0.001	0.001	0.001
FCR 0-21 days									

^{abc} حروف متفاوت در ردیف‌ها نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P < 0.05$); ¹ SEM = میانگین خطای استاندارد; ² M = اثر اصلی امولسیون ویتامین D₃; L = اثر خطی ویتامین D₃; Q = اثر درجه دوم ویتامین D₃.

تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) کنترل (جیره پایه): دریافت‌کننده جیره پایه تجاری بدون دریافت ویتامین D₃ اضافی، تیمار دوم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ به صورت خوراکی، تیمار سوم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ به شکل تزریقی، تیمار چهارم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ امولسیون نوع اول و تیمار پنجم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ امولسیون نوع دوم.

Experimental treatments included: 1) Control group (basal diet): receiving commercial basal diet without additional vitamin D₃, 2) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement orally, 3) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in injectable form, 4) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in emulsion type I, 5) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in emulsion type II.

^{abc} Different letters in rows indicate significance at the ($P < 0.05$) level.

¹ SEM = Standard error of mean; ² M = Main effect of vitamin D₃ emulsion. L = Linear effect of vitamin D₃, Q = Quadratic effect of vitamin D₃; ³ ADG = Average daily weight gain; ⁴ FCR = Feed conversion ratio

عدم تغییر معنی‌دار گلوکز، کلسترول، تری‌گلیسیرید، آلبومین و پروتئین با توجه به سن کم گوساله‌ها قابل انتظار است؛ زیرا حیوانات در این دوره هنوز عمدتاً از شیر به عنوان منبع اصلی مواد مغذی استفاده می‌کنند و هموستاز متابولیکی آنها نسبتاً قوی است. همچنین، مقدار مکمل مورد استفاده احتمالاً برای ایجاد تغییرات عمده در متابولیسم عمومی کافی نبوده است. بنابراین، نبود تفاوت معنی‌دار در این متغیرها را می‌توان به ثبات نسبی متابولیسم عمومی گوساله‌ها در دوره کوتاه ۲۱ روزه نسبت داد.

آنزیم‌های کبدی

در مقابل، فعالیت AST و ALT تحت تأثیر منابع ویتامین D₃ قرار گرفت. غلظت AST در گروه شاهد ۶۶/۲۵ بود، در حالی که این مقدار در تیمارهای تزریقی، امولسیون نوع اول و امولسیون نوع دوم به حدود ۵۱ تا ۵۱/۷۵ کاهش یافت. به همین ترتیب، ALT از ۱۷ در گروه شاهد به ۱۲، ۱۲/۷۵ و ۱۱/۷۵ در تیمارهای تزریقی، امولسیون نوع اول و امولسیون نوع دوم کاهش یافت. بنابراین، کمترین مقدار ALT در تیمار امولسیون نوع دوم مشاهده شد.

این یافته با مطالعه Hassanabadi و همکاران (Hassanabadi et al., 2020) که کاهش فعالیت AST و ALT را در گاوهای شیری دریافت‌کننده ویتامین D₃ گزارش کردند، و همچنین با گزارش Cheshmberah و همکاران

(Cheshmberah *et al.*, 2026) در گوساله‌های شیرخوار، که کاهش ALT را در پاسخ به مقدار ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی

امولسیون ویتامین D₃ نشان دادند، همسو است. این نتایج نشان می‌دهد که پاسخ آنزیم‌های کبدی به ویتامین D₃ ممکن است به شکل مصرف و میزان فراهمی زیستی آن وابسته باشد.

با وجود این، کاهش AST و ALT در مطالعه حاضر نباید به‌تنهایی به‌عنوان اثبات «اثر محافظتی مستقیم کبد» تفسیر شود؛ زیرا AST اختصاصیت کبدی کامل ندارد و ALT نیز در گوساله‌ها نسبت به برخی گونه‌های دیگر دام، شاخص کاملاً اختصاصی آسیب کبدی نیست. بنابراین، عبارت علمی دقیق‌تر این است که کاهش این آنزیم‌ها با بهبود وضعیت سلولی/متابولیکی کبد سازگار است، نه اینکه مستقیماً اثبات‌کننده محافظت کبدی باشد. از نظر مکانیسمی، ویتامین D₃ از طریق گیرنده ویتامین D (VDR) در تنظیم پاسخ‌های التهابی و ایمنی نقش دارد و ممکن است با کاهش التهاب و استرس اکسیداتیو، آسیب سلولی را محدود کند. باین‌حال، برای اثبات این سازوکار در گوساله‌ها، اندازه‌گیری شاخص‌های اکسیداتیو، سایتوکاین‌های التهابی و نشانگرهای اختصاصی‌تر عملکرد کبد ضروری است.

جدول ۴- اثرات استفاده از مقدار اضافی ویتامین D₃ به صورت‌های مختلف در جیره پایه تجاری فبر متابولیت‌های خونی و آنزیم‌های کبدی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 4 Effects of different forms of supplemental vitamin D₃ in a basal diet on blood metabolites and liver enzymes of sucking Holstein calves

	گروه کنترل (جیره پایه) Basal Diets	تیمار دوم Treatment 2	تیمار سوم Treatment 3	تیمار چهارم Treatment 4	تیمار پنجم Treatment 5	SEM ¹	P-value ²		
							M	L	Q
گلوکز Glucose	115.25	118.00	131.25	112.00	130.00	8.938	0.461	0.931	0.237
کلسترول Cholesterol	148.00	155.00	152.75	162.75	162.75	16.928	0.594	0.587	0.930
تری گلیسیرید Triglycerides	32.25	46.75	44.75	30.50	43.25	7.769	0.319	0.839	0.088
آسپارات آمینو ترانسفراز Aspartate Aminotransferase	60.25 ^b	56.00 ^{ab}	51.75 ^a	51.75 ^a	51.00 ^a	2.402	0.012	0.014	0.390
آلانین آمینو ترانسفراز Alanine Aminotransferase	17.00 ^c	14.50 ^{bc}	12.00 ^{ab}	12.75 ^{ab}	11.75 ^a	0.842	0.004	0.001	0.072
کلسیم Calcium	9.03 ^c	9.65 ^b	10.76 ^a	10.53 ^a	10.73 ^a	0.134	0.001	0.001	0.005
فسفات Phosphate	7.63 ^c	8.28 ^b	9.33 ^a	9.25 ^a	9.33 ^a	0.120	0.001	0.001	0.009
آلبومین Albumin	3.26	3.35	3.38	3.18	3.15	0.118	0.926	0.611	0.264

پروتئین									
Protein	6.95	7.15	7.23	7.43	7.53	0.203	0.113	0.119	1.000
ویتامین D ₃									
Vitamin D ₃	7.93 ^c	11.39 ^b	14.40 ^a	14.10 ^a	14.52 ^a	0.294	0.001	0.001	0.001

^{abc} حروف متفاوت در ردیف‌ها معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد؛ ^۱ SEM = میانگین خطای استاندارد؛ ^۲ M = اثر اصلی امولسیون ویتامین D₃، L = اثر خطی ویتامین D₃، Q = اثر درجه دوم ویتامین D₃.

تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) کنترل (جیره پایه): دریافت‌کننده جیره پایه تجاری بدون دریافت ویتامین D₃ اضافی، تیمار دوم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ به صورت خوراکی، تیمار سوم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ به شکل تزریقی، تیمار چهارم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ امولسیون نوع اول و تیمار پنجم: جیره پایه + دریافت روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی مکمل ویتامین D₃ امولسیون نوع دو.

Experimental treatments included: 1) Control group (basal diet): receiving commercial basal diet without additional vitamin D₃, 2) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement orally, 3) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in injectable form, 4) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in emulsion type I, 5) Commercial basal diet + daily intake of 1000 IU of vitamin D₃ supplement in emulsion type II.

^{abc} Different letters in rows indicate significance at the 5% level.

¹ SEM = Standard error of mean.

² M = Main effect of vitamin D₃ emulsion, L = Linear effect of vitamin D₃, Q = Quadratic effect of vitamin D₃.

کلسیم و فسفر خون

یکی از واضح‌ترین پاسخ‌های متابولیکی مشاهده‌شده در این آزمایش مربوط به کلسیم و فسفر بود. غلظت کلسیم از ۹/۰۳ در گروه شاهد به ۱۰/۷۶، ۱۰/۵۳ و ۱۰/۷۳ در تیمارهای تزریقی، امولسیون نوع اول و امولسیون نوع دوم افزایش یافت. روند مشابهی برای فسفر مشاهده شد؛ به‌طوری‌که غلظت آن از ۷/۶۳ در گروه شاهد به ۹/۳۳، ۹/۲۵ و ۹/۳۳ در تیمارهای مذکور افزایش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که مکمل‌سازی ویتامین D₃، به‌ویژه در فرم تزریقی و امولسیونی، وضعیت متابولیسم کلسیم و فسفر را به‌طور محسوسی تحت تأثیر قرار داده است.

این یافته با مطالعات Xu و همکاران (Xu et al., 2021a) و Wang و همکاران (Wang et al., 2022) مطابقت دارد Xu و همکاران افزایش کلسیم و فسفر را در گوساله‌های دریافت‌کننده ویتامین D₃ و D₃(OH) گزارش کردند، در حالی که Wang و همکاران نیز افزایش خطی کلسیم و فسفر پلاسما را در پاسخ به D₃(OH) مشاهده کردند. مطالعات جدیدتر نیز نشان داده‌اند که افزایش وضعیت D₃(OH) با افزایش کلسیم و فسفر سرم و بهبود رشد گوساله همراه است (Wang et al., 2026).

از نظر فیزیولوژیک، این نتیجه با نقش شناخته‌شده ویتامین D₃ در تنظیم هموستاز کلسیم و فسفر سازگار است. ویتامین D₃ پس از فعال‌شدن در بدن، جذب روده‌ای کلسیم و فسفر را افزایش می‌دهد و در تنظیم تعادل مواد معدنی و معدنی‌شدن استخوان نقش اساسی دارد. بنابراین، افزایش کلسیم و فسفر خون در تیمارهای دارای فراهمی بالاتر ویتامین D₃ می‌تواند

یکی از دلایل افزایش رشد استخوانی و وزن بدن گوساله‌ها در این آزمایش باشد. در این میان، افزایش بیشتر غلظت این دو ماده معدنی در فرم‌های تزریقی و امولسیون‌ی احتمالاً با فراهمی زیستی بالاتر ویتامین D₃ مرتبط است.

غلظت ویتامین D₃ خون

غلظت ویتامین D₃ خون نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شکل مکمل قرار گرفت. مقدار ویتامین D₃ در گروه شاهد ۷/۹۳ بود، در حالی که در تیمار خوراکی به ۱۱/۳۹ و در تیمارهای تزریقی، امولسیون نوع اول و امولسیون نوع دوم به‌ترتیب به ۱۴/۴۰، ۱۴/۱۰ و ۱۴/۵۲ افزایش یافت. بنابراین، بیشترین غلظت ویتامین D₃ در تیمار امولسیون نوع دوم مشاهده شد و مقدار آن بسیار نزدیک به تیمار تزریقی بود.

این یافته با گزارش Cheshmberah و همکاران (Cheshmberah *et al.*, 2026) درباره افزایش غلظت سرمی ویتامین D₃ در گوساله‌های دریافت‌کننده امولسیون ویتامین D₃ همخوانی دارد. همچنین مطالعات روی D₃۲۵ (OH) نشان داده‌اند که افزایش دریافت ویتامین D₃ می‌تواند به افزایش معنی‌دار متابولیت‌های ویتامین D₃ در خون منجر شود.

افزایش بیشتر ویتامین D₃ خون در فرم‌های تزریقی و امولسیون‌ی احتمالاً بیانگر تفاوت در فراهمی زیستی و مسیر انتقال ویتامین است. در فرم تزریقی، ویتامین D₃ بدون وابستگی به فرآیندهای اولیه جذب روده‌ای وارد گردش خون می‌شود؛ در حالی که امولسیفیکاسیون می‌تواند محدودیت حلالیت ویتامین D₃ در محیط آبی دستگاه گوارش را کاهش داده و جذب آن را تسهیل کند. بنابراین، افزایش غلظت ویتامین D₃ در تیمار امولسیون نوع دوم همراه با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مناسب آن، از فرضیه افزایش فراهمی زیستی این فرمولاسیون حمایت می‌کند؛ هرچند برای اثبات قطعی برتری زیست‌فراهمی، انجام مطالعات جذب و فارماکوکینتیک ضروری است.

در مطالعه فنویک و همکاران (Fenwick *et al.*, 1984) نتایج نشان داد که تزریق ۱ نانوگرم بر هر گرم وزن بدن ویتامین D₃ یا ۲۵- هیدروکسی D₃ در مارماهی آمریکایی به مدت ۷ روز باعث افزایش کلسیم و هایپرفسفاتی می‌شد. سریواستاو و سینگ (Srivastav and Singh, 1992) گزارش کردند که تزریق روزانه ۵۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ بر ۱۰۰ گرم وزن بدن در گربه‌ماهیان آب شیرین به مدت ۱۰ روز غلظت کلسیم و فسفات را افزایش داد. این محققین عنوان کردند که این افزایش وابسته به غلظت کلسیم محیط مورد استفاده در این مطالعه نمی‌باشد. همچنین سریواستاو و همکاران (Srivastav *et al.*, 1997) در مطالعه‌ی دیگر بر روی گربه‌ماهی اعلام کردند که تزریق داخل صفاقی ۵ میکروگرم ویتامین D₃ و یا ۱ میکروگرم ۲۵- هیدروکسی D₃ سبب افزایش سطوح کلسیم و فسفات سرم می‌شود. همچنین مونگومری و همکاران

(Montgomery et al., 2000) تحقیقی که بر روی گوساله‌های پرواری انجام دادند گزارش کردند گوشت گوساله‌های که در هشت روز پایانی پرواربندی با ۵۰۰/۰۰۰ تا ۵/۰۰۰/۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ تغذیه شوند، غلظت کلسیم به‌طور چشمگیری در ماهیچه‌های این‌ها بیشتر خواهد بود.

در گاوهای شیری، مصرف ۲۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D در روز، معادل ۳۰ واحد بین‌المللی ویتامین D در هر کیلوگرم وزن بدن منتج به ۴۲ نانوگرم در میلی‌لیتر غلظت پلاسمایی ۲۵- هیدروکسی شد (Nelson et al., 2016). در مطالعه‌ای مشابه توسط اکوارو و همکاران (Ekwaru et al., 2014)، تأمین روزانه ۲۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D در انسان، معادل ۳۰ واحد بین‌المللی ویتامین D در هر کیلوگرم وزن بدن، باعث شد تا غلظت ۲۵- هیدروکسی پلاسما ۴۱ نانوگرم در هر میلی‌لیتر بشود. در تحقیقی دیگر حسن‌آبادی و همکاران (Hassanabadi et al., 2020) گزارش کردند که تزریق عضلانی ۸۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃، غلظت ۲۵- هیدروکسی D₃ را در گاوهای شیری دوره انتقالی به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار کنترل تحت تأثیر قرار داد. در مطالعه سلی و همکاران (Celi et al., 2018) نتایج نشان داد که غلظت پلاسمایی ۲۵- هیدروکسی D₃ در گوساله‌های تغذیه‌شده با ۱/۷ نانوگرم در کیلوگرم ۲۵- هیدروکسی D₃ به شکل معنی‌داری نسبت به تیمار کنترل افزایش یافت ($P < 0.05$). زو و همکاران (Xu et al., 2021) افزودن ویتامین D و ۲۵- هیدروکسی D₃ به ترتیب ۳۰۰ و ۱/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در روز غلظت سرمی ۲۵- هیدروکسی D₃ در تیمارهای دریافت‌کننده ویتامین D و ۲۵- هیدروکسی D₃ نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌داری داشت ($P < 0.001$). در بزهای جوان تغذیه با جیره کم پروتئین فعالیت CYP2R1 و غلظت پلاسمایی ۲۵- هیدروکسی D را افزایش داد (Wilkins et al., 2019).

نتیجه گیری کلی

این پژوهش نشان می‌دهد که افزودن روزانه ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ (به‌ویژه در قالب فرمولاسیون امولسیون نوع دوم و فرم تزریقی) به جیره پایه تجاری، به‌طور قابل‌توجهی موجب بهبود افزایش وزن، راندمان مصرف خوراک و ارتقای سطوح پلاسمایی کلسیم و فسفات در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین می‌شود. از سوی دیگر، اعمال این دوز تکمیلی به شکل امولسیونی و تزریقی توانسته است با کاهش معنی‌دار آنزیم‌های کبدی AST و ALT، اثرات محافظتی مطلوبی بر سلامت کبد دام در این دوره حساس پرورشی داشته باشد. با توجه به اینکه فراسنجه‌های متابولیکی تحت‌تأثیر این مقادیر تکمیلی

تغییر عمده‌ای نکردند، می‌توان استنباط کرد که تمرکز اصلی این مداخله، بهبود سیستمیک رشد، متابولیسم استخوان و محافظت کبدی است. بنابراین، به مدیران دامپروری توصیه می‌شود برای دستیابی به حداکثر پتانسیل رشد و سلامت گوساله‌های شیرخوار، علاوه بر جیره پایه، از مکمل‌سازی هدفمند ویتامین D_3 با دوز ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی در روز به شکل امولسیون نوع دوم یا تزریقی استفاده نمایند.

منابع

1. Álvarez-Delgado, C., Ruedas-Torres, I., Sánchez-Carvajal, J.M., Priego-Capote, F., Castillo-Peinado, L., Galán-Relaño, Á., Moreno, P.J., Díaz-Bueno, E., Lozano-Buenestado, B., Rodríguez-Gómez, I.M., & Carrasco, L. (2023). Impact of supplementation with dihydroxylated vitamin D3 on performance parameters and gut health in weaned Iberian piglets under indoor/outdoor conditions. *Porcine Health Management*, 9(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40813-023-00307-z>
2. Asadi, M., Ghoorchi, T., Toghdory, A., Rajabi Aliabadi, R., Iri Tomaj, R., & Sahneh, M. (2021). Comparison of selenium and vitamin E recommended NRC and ARC by diet and injection methods on performance, digestibility, some blood metabolites and skeletal growth indices of suckling Holstein calves. *Journal of Animal Science Research*, 31, 57-69. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/as.2021.36647.1526>
3. Asghari, M., Abdi-Benemar, H., Maheri-Sis, N., Salamatdoust-Nobar, R., Salem, A. Z. M., Zamanloo, M., & Anele, U. Y. (2021). Effects of emulsified essential oils blend on performance, blood metabolites, oxidative status and intestinal microflora of suckling calves. *Animal Feed Science and Technology*, 277, 114954. <https://doi.org/10.1016/j.anifoodsci.2021.114954>
4. Conrad, H. R. (1983). The relation of calcium and phosphorus intake and digestion and the effects of vitamin d feeding on the utilization of calcium and phosphorus by lactating dairy cows. *Research Bulletin*, 1150.
5. Celi, P., Williams, S., Engstrom, M., McGrath, J., & La Marta, J. (2018). Safety evaluation of dietary levels of 25-hydroxyvitamin D3 in growing calves. *Food and Chemical Toxicology*, 111, 641-649. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.11.053>
6. Cheshm Berah, K., Seifdavati, J., Abdi-Benemar, H., Seyedsharifi, R., & Salem, A. Z. M. (2026). Effects of using different levels of the emulsified vitamin D3 on performance, blood metabolites and antioxidant parameters of Holstein suckling female calves. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 73(3), 321-329. <https://doi.org/10.33988/auvfd.1831840>
7. Duchow, E. G., Cooke, N. E., Seeman, J., Plum, L. A., & DeLuca, H. F. (2019). Vitamin D binding protein is required to utilize skin-generated vitamin D. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(49), 24527-24532.
8. Ekwaru, J. P., Zwickler, J. D., Holick, M. F., Giovannucci, E., & Veugelers, P. J. (2014). The importance of body weight for the dose response relationship of oral vitamin D

- supplementation and serum 25-hydroxyvitamin D in healthy volunteers. *Plos One*, 9(11), e111265. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111265>.
- Fenwick, J. C., Smith, K., Smith, J., & Flik, G. (1984). Effect of various vitamin D analogs on plasma calcium and phosphorus and intestinal calcium absorption in fed and unfed American eels, *Anguilla rostrata*. *General and Comparative Endocrinology*, 55, 3, 398-404. [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(84\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0016-6480(84)90010-8)
10. Hans, K. B., & Jana, T. (2018). Micronutrients in the life cycle: Requirements and sufficient supply. *Society of Nutrition and Food Science (NFS) Journal*, 11, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2018.03.001>
11. Hassanabadi, M. , Mohri, M. & Seifi, H. A. (2020). Effects of single injection of vitamin D₃ on some immune and oxidative stress characteristics in transition dairy cows. *Iranian Journal of Veterinary Science and Technology*, 12(2), 25-35. <https://doi.org/10.22067/ijvst.2020.39239>
12. Huang, Q., Yu, H., & Ru. Q. (2010). Bioavailability and delivery of nutraceuticals using nanotechnology. *Journal of Food Science*, 75(1), 50-57. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01457.x>
13. Jäpelt, R. B., & Jakobsen, J. (2013). Vitamin D in plants: a review of occurrence, analysis, and biosynthesis. *Frontiers in Plant Science*, 4, 136. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00136>
14. Makris, K., Sempos, C. & Cavalier, E. (2020). The measurement of vitamin D metabolites: part I—metabolism of vitamin D and the measurement of 25-hydroxyvitamin D. *Hormones*, 19, 81–96. <https://doi.org/10.1007/s42000-019-00169-7>
15. Marwaha, R. K., & Dabas, A. (2019). Bioavailability of nanoemulsion formulations vs conventional fat soluble preparations of cholecalciferol (D3) - An overview. *Journal of clinical orthopaedics and trauma*, 10(6), 1094–1096. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2019.07.014>
16. Montgomery, J. L., Parrish Jr, F. C., Beitz, D. C., Horst, R. L., Huff-Lonergan E. J., & Trenkle, A. H. (2000). The use of vitamin D₃ to improve beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 78, 2615-2621. <http://jas.fass.org/content/78/10/2615>
17. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). Nutrient requirements of dairy cattle: Eighth revised edition. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>
18. Nelson, C. D., Lippolis, J. D., Reinhardt, T. A., Sacco, R. E., Powell, J. L., Drewnoski, M. E., O’Neil, M., Beitz, D. C., & Weiss, W. P. (2016). Vitamin D status of dairy cattle: outcomes of current practices in the dairy industry. *Journal of Dairy Science*, 99, 10150–10160. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11727>
19. Nestor Jr, K. E., & Conrad, H. R. (1990). Metabolism of vitamin K and influence on prothrombin time in milk-fed preruminant calves. *Journal of Dairy Science*, 73(11), 3291-3296. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)79022-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)79022-4)
20. Sangild, P. T. (2003). Uptake of colostral immunoglobulins by the compromised newborn farm animal: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica. Supplementum*, 98, 105-122. <https://doi.org/10.1186/1751-014744-s1-s105>

21. SAS Institute. (2003). SAS Users Guide: Statistics, release, 9.1. SAS Inc., Cary, NC.
22. Soberon, F., Raffrenato, E., Everett, R.W., & Van Amburgh, M.E. (2012). Preweaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 95, 783–793. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4391>
23. Srivastav, A. K., & Singh, S. (1992). Effect of vitamin D₃ administration on the serum calcium and inorganic phosphate levels of the freshwater catfish, *Heteropneustes fossilis*, maintained in artificial fresh water, calcium-rich fresh water, and calcium-deficient fresh water. *General and Comparative Endocrinology*, 87, 63-70. [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(92\)90150-I](https://doi.org/10.1016/0016-6480(92)90150-I)
24. Srivastav, A. K., Srivastav, S. K., Sasayama, Y., Suzuki, N., & Norman, A. W. (1997). Vitamin D metabolites affect serum calcium and phosphate in freshwater catfish, *Heteropneustes fossilis*. *Zoological Science*, 14(5), 743-746. <https://doi.org/10.2108/zsj.14.743>
25. Wang, H., Zhang, C. R., Zhang, Q. Y., XU, H. J., Feng, G. Z., Zhang, G. N., & Zhang, Y. G. (2022). Effects of feeding different doses of 25-hydroxyvitamin D₃ on the growth performance, blood minerals, antioxidant status and immunoglobulin of preweaning calves. *Animal Feed Science and Technology*, 285, 115220. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115220>
26. Wang, Z., J. Zhang, T. Zhang, Chen, Y., Zhang, H., Zhou, Y., Li, J., Gao, Y., Li, X., & Xu, H. (2026). Effect of 25-Hydroxyvitamin D₃ on vitamin D and immunoglobulin G status, performance, and health of periparturient cows and their calves. *Animal Science Journal* 97, 1, e70207. <https://doi.org/10.1111/asj.70207>.
27. Waldner, C. L., & Blakley, B. (2014). Evaluating micronutrient concentrations in liver samples from abortions, stillbirths, and neonatal and postnatal losses in beef calves. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 26, 376-389. <https://doi.org/10.1177/1040638714526597>
28. Wei, J., Li, L., Peng, Y., Luo, J., Chen, T., Xi, Q., Zhang, Y., & Sun, J. (2024). The effects of optimal dietary vitamin D₃ on growth and carcass performance, tibia traits, meat quality, and intestinal morphology of chinese yellow-feathered broiler chickens. *Animals*, 14, 920. <https://doi.org/10.3390/ani14060920>
29. Wilkens, M. R., Firmenich, C. S, Schnepel, N., & Muscher-Banse, A. S. (2019). A reduced protein diet modulates enzymes of vitamin D and cholesterol metabolism in young ruminants. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 186, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2018.10.014>
30. Xu, H. J., Jiang, X., Zhang, C. R., Ma, G. M., Wang, L. H., Zhang, Q. Y., & Zhang, Y. G. (2021a). Effects of dietary 25-hydroxyvitamin D₃ on the lactation performance, blood metabolites, antioxidant and immune function in dairy cows. *Livestock Science*, 248, 104497. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104497>
31. Xu, H. J., Wang, L. H., Zhang, X., Jiang, X., Zhang, C. R., & Zhang, Y. G. (2021b). Effects of 25 hydroxyvitamin D₃ on growth performance, fecal scores, vitamin D₃ metabolites, antioxidant status, and inflammatory and stress-related parameters in weaning calves.

Animal Feed Science and Technology, 281, 114946. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114946>

32. Zafalon, R. V. A., Ruberti, B., Rentas, M. F., Amaral, A. R., Vendramini, T. H. A., Chacar, F. C., Kogika, M. M., & Brunetto, M. A. (2020). The role of vitamin D in small animal bone metabolism. *Metabolites*. 10, 496. <https://doi.org/10.3390/metabo10120496>

نسخه پیش انتشار