

# The effect of feeding fat supplement powder containing an additive (lecithin or bile powder) with the physical form of flaked or granulated on the apparent digestibility of nutrients and some blood parameters in Holstein dairy cows

## Abstract

The particle size and physical form of fat supplements are effective factors in the digestibility of nutrients, fatty acids, and some blood parameters in dairy cows. This research aims to investigate the effect of a feeding fat supplement containing an additive (lecithin or bile powder) with the physical form of flake or granule on the apparent digestibility of nutrients and some blood parameters in Holstein dairy cows. 48 lactating cows were used during two experimental periods in a 2x3x2 completely randomized factorial design and randomly grouped into 6 experimental treatments: 1. Control diet + 2.5% granulated fat supplement, 2. Control diet + 2.5% granulated fat supplement containing 5% lecithin 3. Control diet + 2.5% granulated fat supplement containing 5% bile powder 4. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement 5. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement containing 5% lecithin and 6. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement containing 5% bile powder. All the experimental diets were balanced according to the recommendations of the National Research Association. All data were analyzed by statistical software. The digestibility of the ether extract, total fatty acids, 16 and 18-carbon fatty acids, as well as the plasma concentration of NEFA, triglycerides, cholesterol, HDL, and VLDL were increased in the treatments containing the additives ( $P \geq 0.05$ ). The addition of emulsifying ingredients to the fat supplement of the high-production dairy cow diet may have positive effects on the digestibility of some nutrients and lipid metabolism.

**Keywords:** emulsifier, bile powder, lecithin, fat, dairy cow, digestibility

## اثر تغذیه مکمل پودر چربی حاوی افزودنی (لسیتین یا پودر صفرا) با شکل فیزیکی پرک یا گرانول بر

## قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی و برخی از فراسنجه‌های خون در گاوهای شیرده هلشتاین

### چکیده

اندازه ذرات و شکل فیزیکی مکمل‌های چربی عاملی مؤثر بر قابلیت هضم مواد مغذی، اسیدهای چرب و برخی از فراسنجه‌های خونی در گاوهای شیری در نظر گرفته می‌شود. هدف این پژوهش بررسی اثر تغذیه مکمل چربی حاوی افزودنی (لسیتین یا پودر صفرا) با شکل فیزیکی پرک یا گرانول بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی و برخی از فراسنجه‌های خون در گاوهای شیرده هلشتاین است. ۴۸ رأس گاو شیرده طی دو دوره آزمایشی در قالب طرح چند عاملی ۲×۳×۲ کاملاً تصادفی استفاده شد که به‌طور تصادفی در ۶ تیمار آزمایشی گروه‌بندی شدند: ۱. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی گرانول، ۲. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی گرانول حاوی ۵ درصد مکمل چربی پرک، ۳. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی گرانول حاوی ۵ درصد پودر صفرا، ۴. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک، ۵. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک حاوی ۵ درصد لسیتین و ۶. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک حاوی ۵ درصد بیلپاویژن. تمام جیره‌های آزمایشی طبق توصیه‌های انجمن ملی تحقیقات متعادل شدند. تمامی داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری آنالیز شدند. قابلیت هضم عصاره اتری، کل اسیدهای چرب، اسیدهای چرب ۱۶ و ۱۸ کربنه و همچنین غلظت پلاسمایی اسیدهای چرب غیر استریفه، تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا و لیپوپروتئین‌های با چگالی بسیار

پایین در تیمارهای حاوی افزودنی افزایش یافت ( $P \leq 0.05$ ). افزودن ترکیبات امولسیفایری در مکمل‌های چربی جیره غذایی گاوهای شیرده پرتولید، احتمالاً اثرات مثبتی بر قابلیت هضم برخی از مواد مغذی و متابولیسم چربی‌ها دارد. کلیدواژه‌ها: امولسیفایر، پودر صفرا، لسیتین، چربی، گاو شیری، قابلیت هضم

## مقدمه

روش معمول برای افزایش مقدار انرژی جیره‌های گاوهای شیرده، افزودن چربی‌ها به آن‌ها است (Shepardson & Harvatine, 2021). با این وجود، سطوح بالای چربی‌ها در جیره‌های غذایی می‌تواند برای میکروارگانیسم‌های شکمبه سمی باشد و سبب کاهش قابلیت هضم الیاف گردد، که در نهایت منجر به کاهش مصرف خوراک و کاهش تولید حیوانات می‌شود (Palmquist, 1991). این تأثیرات منفی مکمل‌های چربی را می‌توان با تغذیه نمودن نشخوارکنندگان با چربی‌هایی به نام چربی‌های محافظت‌شده که به‌طور خاصی طراحی شده‌اند به راحتی رفع کرد (Drackley, 1999; Palmquist & Jenkins, 2017). چربی‌های محافظت‌شده نیز به‌صورت تجاری توسعه یافته‌اند که عموماً بر پایه اسیدهای چرب اشباع بوده و در آن‌ها معمولاً از اسید پالمیتیک (C16:0) و اسید استئاریک (C18:0) با غلظت‌های متفاوتی استفاده می‌شود که احتمالاً سبب تغییر پاسخ حیوان به میزان مصرف خوراک، تولید و قابلیت هضم مواد مغذی می‌گردد (Shepardson & Harvatine, 2021). بسیاری از این مکمل‌های چربی اشباع حاوی مقادیری از اسید اولئیک نیز هستند که قابلیت هضم آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Shepardson & Harvatine, 2021). لازمه هضم چربی‌ها تشکیل میسل است زیرا حاوی مخلوطی از اسیدهای صفراوی و نمک، لسیتین، لیزولسیتین، مونوگلیسریدها، کلسترول و اسیدهای چرب هستند که برای جذب لیپید به داخل سلول‌های روده ضروری هستند (McFadden, 2019). توانایی لیپاز پانکراسی، کولیپاز، و فسفولیپازها در هضم کارآمد تری‌گلیسریدها و فسفولیپیدهای جیره نشخوارکنندگان مستلزم وجود نمک‌های صفراوی و لیزولسیتین بوده تا خصوصیات امولسیفه‌کنندگی و تشکیل میسل انجام شود (McFadden, 2019). امولسیفایرها<sup>۱</sup> ترکیباتی آمفی‌پاتیک<sup>۲</sup> محسوب می‌شوند که قادر به ترکیب لیپیدها و آب با یکدیگر هستند (Rico *et al.*, 2017). افزودن امولسیفایرها به جیره غذایی سبب افزایش فعالیت آنزیمی (Kim *et al.*, 2004; Lee & Ha, 2003) و نیز بهبود قابلیت هضم چربی‌ها و برخی از مواد مغذی می‌گردد (Kim *et al.*, 2004). لیزولسیتین نوعی امولسیفایر قوی محسوب شده که از هیدرولیز آنزیمی لسیتین به وجود می‌آید و به هضم اسیدهای چرب کمک می‌کند (Rico *et al.*, 2017). نمک‌های صفراوی نیز به‌عنوان امولسیفایر ایفای نقش نموده و هضم و جذب چربی‌های جیره و مواد مغذی محلول در چربی را تسهیل می‌نماید (Macierzanka *et al.*, 2019). اندازه ذرات و شکل

<sup>۱</sup>. Emulsifiers

<sup>۲</sup>. Amphipathic

فیزیکی مکمل‌های چربی اشباع به‌عنوان عاملی مؤثر بر قابلیت هضم اسیدهای چرب و پاسخ‌های تولیدی در گاوهای شیری پیشنهاد شده است (De Souza et al., 2017).

تاکنون مطالعه‌ای که به بررسی اثرات افزودن ترکیبات امولسیفایری نظیر لسیتین و پودر صغرا به مکمل‌های چربی با اندازه ذرات متفاوت بر فراسنجه‌های خون و قابلیت هضم مواد مغذی در دستگاه گوارش نشخوارکنندگان پرداخته باشد، انجام نشده است. همچنین از دیگر ضرورت‌های این پژوهش دستیابی به روشی است که از طریق آن بتوان قابلیت هضم مکمل‌های چربی را که سهم اسید استتاریک در آن‌ها از اسید پالمیتیک بیشتر است را بهبود بخشید زیرا بر اساس نتایج مشاهده شده در سایر پژوهش‌ها، افزایش سهم اسید استتاریک در مکمل‌های چربی با کاهش قابلیت هضم آن‌ها مرتبط است (Boerman et al., 2015; Chamberlain & DePeters, 2017; Firkins & Eastridge, 1994). بنابراین پی بردن به عواملی که بر بهبود قابلیت هضم اسیدهای چرب تأثیرگذارند، اثر مستقیمی بر استراتژی‌های مربوط به فرمولاسیون جیره‌ها و توصیه‌های تغذیه‌ای مربوط به حوزه صنعت گاو شیری دارد. لذا پژوهش حاضر به بررسی اثر شکل فیزیکی مکمل چربی اشباع حاوی لسیتین یا پودر صغرا بر قابلیت هضم مواد مغذی و برخی فراسنجه‌های خون در گاوهای شیرده هلشتاین پرداخته است.

### پیشینه پژوهش

به حداکثر رساندن جذب مواد مغذی برای تأمین احتیاجات گاوهای شیرده به انرژی موردنیاز بیشتر، ضروری است. هرچند که اغلب، مکمل چربی به‌منظور افزایش غلظت انرژی خوراک به جیره‌های غذایی گاوهای شیرده اضافه می‌گردد، اما بر اساس یافته‌های علمی با افزایش مقدار جریان اسیدهای چرب به دئودنوم، قابلیت هضم اسیدهای چرب کاهش می‌یابد (Boerman et al., 2015). اکثر مکمل‌های چربی حاوی اسیدهای چرب پالمیتیک، استتاریک و اولئیک هستند که از نظر قدمت، مکمل‌های چربی غنی از اسید استتاریک به‌شدت مورد استفاده قرار می‌گرفتند، زیرا اسید استتاریک به دلیل بیوهیدروژناسیونی که در شکمبه رخ می‌دهد، نخستین اسید چرب در دسترس برای جذب از روده محسوب می‌شود (Jenkins, 1993). علاوه بر این، پژوهش‌های گوناگونی کاهش قابلیت هضم اسیدهای چرب را هنگام استفاده از مکمل چربی بر پایه اسید استتاریک در جیره‌های غذایی نسبت به سایر اسیدهای چرب گزارش نموده‌اند (Chamberlain & DePeters, 2017; De Souza et al., 2018; De Souza et al., 2020). معمولاً اسیدهای چرب غیراشباع از قابلیت هضم بالاتری نسبت به اسیدهای چرب اشباع برخوردارند (Boerman et al., 2015)، که احتمالاً بیشتر بودن حلالیت اسیدهای چرب غیراشباع سبب تسهیل انتقال اسیدهای چرب به درون میسل می‌گردد (Freeman, 1969) که همین امر سرعت جذب و استریفیکاسیون مجدد اسیدهای چرب غیراشباع را در سلول‌های روده نسبت به اسیدهای چرب اشباع افزایش می‌دهد (Bionaz et al., 2020).

در پژوهشی فراتحلیل، برای اولئیک اسید قابلیت هضم بالاتری نسبت به اسید استتاریک و اسید پالمیتیک گزارش شد (Boerman et al., 2015). با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش Shepardson & Harvatin (2021)، تغذیه پودر چربی حاوی مقادیر متفاوتی از اسید

پالمیتیک و اسید استئاریک در گاوهای شیرده هلستاین بر قابلیت هضم ظاهری ماده خشک، ماده آلی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی تأثیری نداشت ولی قابلیت هضم اسیدهای چرب ۱۸ کربنه در مکمل چربی که اسید پالمیتیک بیشتری داشت، نسب به سایر تیمارها بالاتر گزارش شد. (Shepardson and Harvatine, 2019)، اثر اسید اولئیک و لسیتین را در مکمل چربی حاوی اسیدهای چرب اشباع بر قابلیت هضم مواد مغذی در گاوهای شیرده هلستاین مورد بررسی قرار دادند که به طور کلی افزودن اسید اولئیک و لسیتین سبب افزایش قابلیت هضم مکمل‌های چربی گردید. در پژوهشی دیگر افزودن لیزوفسفولیپیدها به جیره غذایی گاوهای شیرده هلستاین برخلاف مشاهدات گزارش شده در غیرنشخوارکنندگان، سبب کاهش قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی در کل دستگاه گوارش گردید (Lee et al., 2019).

تغییر اندازه ذرات مکمل چربی سبب تغییر قابلیت هضم اسیدهای چرب و تولید چربی شیر می‌شود (Eastridge & Firkins, 2000). همچنین نتایج پژوهشی نشان داد که تغییر اندازه ذرات مکمل‌های پودر چربی (اندازه درشت) در مقایسه با اندازه متوسط و کوچک سبب افزایش قابلیت هضم اسیدهای چرب می‌شود (De Souza et al., 2017). در سالیان اخیر به ویژه در کشور چین، اسیدهای صفراوی به عنوان افزودنی خوراکی جدید در تغذیه حیوانات مختلف مورد توجه قرار گرفته است (Gao et al., 2023). در پژوهش‌های متعددی که در برخی از حیوانات تک‌معدده‌ای انجام شده است، افزودن پودر صفرا گاو به جیره غذایی سبب بهبود قابلیت هضم مواد مغذی به ویژه اسیدهای چرب شده است (Alzawqari et al., 2011; Freeman, 1969; Gao et al., 2023). بررسی نقش صفرا و عصاره پانکراس در جذب چربی در میش‌ها و بره‌ها نشان داد که در نبود صفرا هیچ اسید چرب ۱۴ کربنه‌ای جذب نخواهد نشد (Heath & Morris, 1963). همچنین تغییر اندازه ذرات مکمل چربی سبب تغییر قابلیت هضم اسیدهای چرب می‌شود (Eastridge & Firkins, 2000). همچنین نتایج پژوهشی نشان داد که تغییر اندازه ذرات مکمل‌های پودر چربی (اندازه درشت) در مقایسه با اندازه متوسط و کوچک سبب افزایش قابلیت هضم اسیدهای چرب می‌شود (De Souza et al., 2017).

## روش‌شناسی پژوهش

### حیوانات و تیمارهای آزمایشی

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران اجرا گردید. ۴۸ رأس گاو شیرده هلستاین (میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد در ابتدای آزمایش؛ روزهای شیردهی:  $130 \pm 21$ ؛ تولید شیر:  $38/4 \pm 1$ ؛ وزن بدن:  $590 \pm 12$ ) در جایگاه‌های انفرادی مقید و طی دو دوره آزمایشی (هر دوره ۲۴ رأس) به صورت آزمایش چند عاملی  $2 \times 3 \times 2$  در قالب طرح کاملاً تصادفی برای این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. گاوهای مورد آزمایش بر اساس روزهای شیردهی و میانگین تولید شیر به طور تصادفی در ۶ تیمار آزمایشی و ۴ تکرار در هر دوره (جمعاً ۸ تکرار)، گروه‌بندی شدند: ۱. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی گرانول، ۲. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی

گرانول حاوی ۵ درصد لسیتین، ۳. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی گرانول حاوی ۵ درصد پودر صفر، ۴. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک، ۵. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک حاوی ۵ درصد لسیتین و ۶. جیره حاوی ۲/۵ درصد مکمل چربی پرک حاوی ۵ درصد پودر صفر. جیره‌های آزمایشی و ترکیبات شیمیایی آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. تمام جیره‌های آزمایشی به نحوی متعادل شدند که ضمن یکسان بودن میزان نیتروژن و انرژی، احتیاجات مواد مغذی مورد نیاز دام‌ها را طبق توصیه‌های انجمن ملی تحقیقات فراهم می‌نمودند (NRC, 2001). تمام جیره‌های غذایی به‌طور روزانه تهیه و به‌صورت کاملاً مخلوط شده و در حد اشتها (حداقل ۵ درصد پسماند) به نحوی به مصرف دام‌ها می‌رسید که دسترسی آزاد به آب نیز وجود داشت. در این آزمایش از پودر چربی اشباع پرشیافت سیلور (کیمیا دانش الوند، قم، ایران) حاوی ۹۳ درصد اسیدهای چرب اشباع (۵۸ درصد اسید استئاریک و ۳۵ درصد اسید پالمیتیک) و ۷ درصد اسیدهای چرب غیراشباع (۵ درصد اسید اولئیک و ۲ درصد اسید لینولئیک) به دو شکل فیزیکی پرک (۳/۲۵ میلی‌متر میانگین هندسی) و گرانول (۱/۴۰ میلی‌متر میانگین هندسی) استفاده شد. همچنین برای تهیه پودر صفر، ابتدا کیسه صفر از گاوهای کشتار شده در کشتارگاه دام سنگین استان قم جمع‌آوری و پس از انتقال به آزمایشگاه هموژنیزه و از طریق صافی‌های نایلونی درشت فیلتر شدند و سپس پودر صفر از طریق خشک‌کردن نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت طبق روش مرجع به دست آمد (Alzawqari et al., 2011). Song et al (2011) به دنبال یافتن دستور العملی برای توصیه مقدار قابل تغذیه نمک‌های صفرای به موش‌های آزمایشگاهی، اقدام به تغذیه نمودن نمک‌های صفرای در سطوح مختلف نمودند که طبق نتایج بدست آمده و براساس نسبت کبد به وزن بدن، فعالیت آنزیم کبدی آلانین آمینوترانسفراز و غلظت اسیدهای صفرای، حداقل غلظت قابل تغذیه نمک‌های صفرای حدود ۰/۱۴ درصد وزن بدن برآورد گردید که تغذیه بیش از ۱۰ برابر آن برای حیوان سمی است. بر اساس این یافته‌ها در این پژوهش مقدار ۵ درصد پودر صفر به مکمل‌های چربی اضافه گردید تا اثرات امولسفایری آن بر قابلیت هضم مورد بررسی قرار گیرد. در پژوهشی به بررسی اثرات جایگزینی لسیتین با کولین محافظت شده پرداخته شد و مشاهده گردید که جایگزینی و تغذیه ۲۵ گرم در روز لسیتین با ۱۴ گرم کولین کلراید اثرات مشابهی بر عملکرد و فراسنجه‌های خون گاوهای شیرده داشته است، از این رو طبق محاسبات انجام شده مقدار لسیتین موجود در پودر چربی به نحوی تنظیم شد که حداقل روزانه لسیتین برای تیمارهای آزمایشی کمتر از ۲۵ گرم در روز به ازای هر رأس نباشد (Nardi et al., 2012). بنابراین از لسیتین سویا (پیشگامان شیمی، کشاور، هندوستان)، به‌عنوان دیگر افزودنی مورد استفاده در تهیه و تولید پودر چربی‌های گرانول و پرک استفاده شد. برای این منظور لسیتین و صفر در آخرین مرحله تولید پودر چربی‌ها به محصول اضافه شد و سپس وارد برج گرانول یا سیستم فلیک (پرک) شدند.

جدول ۱. ترکیبات و مواد مغذی تشکیل دهنده جیره غذایی تیمارهای آزمایشی

شرح	جیره آزمایشی
<b>اقلام، درصد ماده خشک</b>	
یونجه	۶/۴۳
سیلاژ ذرت	۳۸/۵۴
کاه گندم	۱/۶۳
آرد جو	۱۴/۷۴
آرد ذرت	۱۵/۰۰
سبوس گندم	۰/۹۵
تخم پنبه	۲/۶۳
کنجاله سویا	۱۳/۹۰
پودر چربی <sup>۱</sup>	۲/۵۰
مکمل ویتامین-معدنی <sup>۲</sup>	۰/۶۵
جوش شیرین	۰/۹۰
اکسید منیزیم	۰/۳۰
نمک	۰/۳۰
کربنات کلسیم	۰/۴۵
دی کلسیم فسفات	۰/۱۶
زئولیت	۰/۷۶
توکسین بایندر <sup>۳</sup>	۰/۱۶
<b>ترکیبات مواد مغذی، درصد ماده خشک</b>	
پروتئین خام	۱۴/۴۰
چربی خام	۵/۷۷
خاکستر خام	۷/۱۱
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	۳۰/۸۴
کربوهیدرات‌های غیر الیافی	۴۱/۸۸
اسیدهای چرب	۵/۶۴
اسیدهای چرب ۱۸ کربنه	۳/۴۲

۱. پرشیافت سیلور (کیمیا دانش‌الوند، قم، ایران) در دو شکل فیزیکی گرانول و پرک حاوی ۵ درصد پودر صفرا یا

لسیتین

۲. مکمل ویتامین و مواد معدنی شامل ویتامین A، ویتامین D<sub>3</sub>، ویتامین E، بیوتین و مواد معدنی فسفر، کلسیم، منیزیم، گوگرد، سولفات آهن، سولفات مس، سولفات منگنز، سولفات روی، کربنات کبالت، ید، سدیم سلنیت، آنتی‌اکسیدان و مونسنین.

۳. آلومینیوم سلیکاته، زرین بایندر (ویوان تک اکسیر ایرانیان، مشهد، ایران)

## جمع آوری نمونه‌ها

پژوهش حاضر شامل دو دوره آزمایشی که هر کدام ۲۱ روز (۱۴ روز عادت دهی به جیره و ۷ روز نمونه‌برداری) به طول انجامید، بود. تمام دام‌ها در ابتدای آزمایش و دو روز پایانی (روز ۲۰ و ۲۱) در هر دوره وزن‌کشی شدند.

نمونه‌گیری از علوفه‌ها جهت تعیین ماده خشک و تنظیم مقدار خوراک مصرفی به صورت هفتگی انجام شد. همچنین نمونه برداری از اجزای جیره و خوراک کاملاً مخلوط شده قبل از خوراک‌دهی در روزهای ۱۹ الی ۲۱ مربوط به هر دوره انجام گرفت. نمونه‌های مربوط به مدفوع هر دوره آزمایشی طی روزهای ۱۹، ۲۰ و ۲۱ آزمایش (صبح و ظهر) به صورت توشه‌رکتال جمع‌آوری و سپس نمونه‌های مربوط به هر بازه زمانی هریک از روزهای نمونه‌برداری به صورت مساوی با یکدیگر مخلوط و بلافاصله پس‌از آن به آزمایشگاه منتقل شدند (Shepardson & Harvatine, 2021). نمونه‌برداری خون در روز پایانی هر دوره (روز ۲۱) حدود ۳ ساعت پس از مصرف خوراک با استفاده از لوله‌های تحت خلاء حاوی ماده ضد انعقاد خون از سیاهرگ دمی انجام شد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شدند و سپس پلاسماهای به‌دست‌آمده در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

## آنالیز نمونه‌ها

آنالیز شیمیایی نمونه‌های مربوط به جیره غذایی (پسماند خوراک و اجزای تشکیل‌دهنده جیره) و مدفوع پس از خشک نمودن از طریق آون در دمای ۵۵ درجه سلسیوس (به مدت ۷۲ ساعت) و آسیاب نمودن با توری به قطر ۱ میلی‌متر از طریق دستورالعمل‌های بین‌المللی برای ماده خشک، خاکستر خام (کوره الکتریکی) پروتئین خام (Kjeltec Auto Analyzer 1030 Tractor)، چربی خام (Soxtec System H.T Tector) انجام شد (AOAC, 2006). به‌منظور تعیین اسیدهای چرب ابتدا چربی کل خوراک و نمونه‌های مدفوع با استفاده از روش هضم اسیدی (AOAC, 2006) تعیین شد و سپس استخراج با حلال (متانول - کلروفرم) با نسبت حجمی ۲:۱ انجام شد (Folch et al., 1957). برای اطمینان از استخراج کامل چربی، استخراج چربی از نمونه‌ها سه بار تکرار شد. متیل استر اسیدهای چرب بر اساس روش

استاندارد و با استفاده از اسیدکلریدریک متانولی ساخته و از نونادکانوئیک اسید به عنوان استاندارد داخلی استفاده شد. تعیین الگوی اسیدهای چرب با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (Agilent 6890) مجهز به شناساگر شعله یونی و ستون موئین (Restec) با مشخصات، طول ۱۰۳ متر، قطر خارجی ۲۵۰ میکرومتر و قطر داخلی ۰/۲ میکرومتر انجام شد. اسیدهای چرب با توجه به قله اسید چرب متناظر در مخلوط استاندارد تزریق شده در شرایط مشابه با نمونه‌ها شناسایی شده و از نیتروژن به عنوان گاز حامل استفاده شد. دمای محل تزریق و شناساگر ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار تزریق ۱ میکرولیتر و نسبت تقسیم (ورود به ستون) برابر با ۱:۵۰ انتخاب شد. از مقایسه سطح زیر منحنی استر اسیدهای چرب با سطح زیر منحنی استاندارد داخلی و غلظت اسیدهای چرب در مخلوط استاندارد به منظور محاسبه غلظت متیل استر اسیدهای چرب مختلف استفاده شد (Ichihara & Fukubayashi, 2010). و به منظور تعیین ایف نامحلول در شوینده خنثی از طریق روش استاندارد با استفاده از سدیم سولفات و آلفا آمیلاز پایدار در برابر حرارت (۱۰۰ میکرولیتر به ازای ۰/۵ گرم نمونه) توسط دستگاه آنکوم تک (اصفهان، ایران) انجام شد (Van Soest *et al.*, 1991). میزان کربوهیدرات‌های غیر ایافی (Non Fiber Carbohydrates) از رابطه ذیل محاسبه گردید (AOAC, 2006).

$$NFC = 100 - (NDF + CP + Ash + EE)$$

در رابطه فوق NDF، ایاف نامحلول در شوینده خنثی؛ CP، پروتئین خام؛ Ash، خاکستر خام؛ EE، عصار اتری است.

همچنین پس از تعیین میزان ماده خشک و مواد مغذی موجود در نمونه‌های خوراک و مدفوع، تعیین قابلیت هضم ظاهری مواد

مغذی با استفاده از نشانگر داخلی خاکستر نامحلول در اسید انجام شد (Lee & Hristov, 2013).

به منظور ارزیابی برخی از فراسنجه‌های پلاسمای شامل غلظت گلوکز، تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا،

لیپوپروتئین‌های با چگالی پایین<sup>۱</sup>، پروتئین کل، آلبومین، اوره، آنزیم آسپارات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز، اسیدهای چرب غیر

استریفه<sup>۲</sup> و بتا هیدروکسی بوتیرات<sup>۳</sup> از دستگاه الایزا<sup>۴</sup> BT1500 آزمایشگاه گروه علوم دامی دانشگاه اردبیل، ایران، استفاده شد.

<sup>۱</sup>. HDL

<sup>۲</sup>. LDL

<sup>۳</sup>. Non-esterified fatty acids (NEFA)

<sup>۴</sup>.  $\beta$ -Hydroxybutyric acid (BHBA)

<sup>۵</sup>. Elisa



## مدل آماری

این آزمایش به صورت چند عاملی  $2 \times 3 \times 2$  در دو دوره و هر دوره با ۲۴ رأس دام در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. سپس تمامی داده‌های حاصل از کل آزمایش به روش آنالیز واریانس و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) و رویه MIXED و با مدل آماری زیر آنالیز گردید.

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + F_j + P_1 + (FP)_{jl} + (AP)_{il} + \text{Animal}(T)_k + e_{ijkl}$$

$Y_{ijkl}$  = مقدار هر مشاهده،  $\mu$  = میانگین کل متغیر مورد بررسی،  $A_i$  = اثر افزودنی،  $F_j$  = اثر شکل فیزیکی چربی،  $P_1$  = اثر دوره‌ها،

$FP_{jl}$  = اثر خطای آزمایش،  $AP_{il}$  = اثر متقابل افزودنی و دوره‌ها،  $\text{Animal}(T)_k$  = اثر ثابت حیوان در  $k$  ام تیمار،  $e_{ijkl}$  = اثر ثابت خطای آزمایشی.

هنگامی که اثرات متقابل معنی‌دار نشدند، مقادیر مربوط به سطح معنی‌داری آن‌ها از جداول حذف گردید و به منظور مشخص شدن اثرات عامل‌ها از چهار مقایسه مستقل یا متعامد<sup>۱</sup> برای ارزیابی اثرات ۱. شکل فیزیکی گرانول در مقایسه با شکل فیزیکی پرک، ۲. عدم استفاده از افزودنی در مقایسه با استفاده از افزودنی لسیترین ۳. عدم استفاده از افزودنی در مقایسه با استفاده از افزودنی پودر صفر، ۴. استفاده از افزودنی لسیترین در مقایسه با استفاده از افزودنی پودر صفر استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش حداقل میانگین مربعات<sup>۲</sup> و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

## یافته‌های پژوهش

نوع شکل فیزیکی مکمل چربی استفاده شده در این پژوهش تأثیری بر مقدار ماده خشک مصرفی ( $P = ۰/۹۴۶$ )، مصرف ماده آلی ( $P = ۰/۹۳۰$ )، مصرف الیاف محلول در شوینده خنثی ( $P = ۰/۳۵۶$ )، مصرف کربوهیدرات غیرالیافی ( $P = ۰/۴۹۳$ )، مصرف عصاره اتری ( $P = ۰/۹۷۸$ )، مصرف کل اسیدهای چرب دریافتی ( $P = ۰/۹۷۶$ ) و مصرف اسیدهای چرب ۱۶ کربنه ( $P = ۰/۸۰۹$ ) و ۱۸ کربنه ( $P = ۰/۹۲۵$ ) توسط حیوان نداشت. همچنین استفاده از پودر چربی با شکل فیزیکی گرانول یا پرک تأثیری بر قابلیت هضم ماده خشک ( $P = ۰/۹۲۳$ )، ماده آلی ( $P = ۰/۷۹۹$ )، عصاره اتری ( $P = ۰/۳۸۸$ )، الیاف نامحلول در شوینده خنثی ( $P = ۰/۹۶۶$ )، کل اسیدهای چرب ( $P = ۰/۸۰۹$ )، اسیدهای چرب ۱۶ کربنه ( $P = ۰/۹۶۹$ ) و ۱۸ کربنه ( $P = ۰/۸۲۸$ ) نیز نداشت.

در تیمارهای دریافت‌کننده پودر چربی حاوی افزودنی (لسیتین یا پودر صفر)، مقدار مصرف مواد مغذی شامل ماده خشک ( $P = ۰/۷۸۷$ )، ماده آلی ( $P = ۰/۷۸۷$ )، الیاف محلول در شوینده خنثی ( $P = ۰/۹۵۴$ )، عصاره اتری ( $P = ۰/۷۳۸$ )، کل اسیدهای چرب ( $P = ۰/۷۹۵$ )، اسیدهای چرب ۱۶ کربنه ( $P = ۰/۷۷۸$ ) و ۱۸ کربنه ( $P = ۰/۹۶۲$ ) تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند. باین‌حال، قابلیت هضم ماده

<sup>۱</sup> . Orthogonal

<sup>۲</sup> . Least squares means

خشک ( $P = 0/809$ )، عصاره اتری ( $P < 0/001$ )، کل اسیدهای چرب ( $P < 0/001$ )، اسیدهای چرب ۱۶ و ۱۸ کربنه ( $P < 0/001$ ) در تیمارهای تغذیه‌شده با پودر چربی حاوی افزودنی (لسیتین یا پودر صفر) افزایش یافت اما قابلیت هضم ماده خشک فقط در تیمار دریافت کننده پودر چربی حاوی پودر صفر افزایش یافت ( $P = 0/004$ ). همچنین قابلیت هضم ماده آلی ( $P = 0/883$ ) و ایاف نامحلول در شوینده خنثی تحت ( $P = 0/729$ ) تأثیر افزودنی‌های استفاده‌شده در مکمل‌های چربی قرار نگرفت.

شکل فیزیکی پودر چربی‌های استفاده‌شده در تیمارهای مختلف، تأثیری بر غلظت پلاسمایی گلوکز ( $P = 0/593$ )، پروتئین کل ( $P = 0/812$ )، آلبومین ( $P = 0/626$ )، اوره ( $P = 0/477$ )، تری‌گلیسرید ( $P = 0/492$ )، کلسترول ( $P = 0/807$ )، لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا ( $P = 0/859$ )، لیپوپروتئین با چگالی پایین ( $P = 0/497$ )، لیپوپروتئین با چگالی بسیار پایین ( $P = 0/488$ )، اسیدهای چرب غیر استریفه ( $P = 0/939$ )، بتا‌هیدروکسی‌بوتیرات ( $P = 0/813$ ) و آسپاراتات آمینوترانسفراز ( $P = 0/862$ ) و آلانین آمینوترانسفراز ( $P = 0/516$ ) نیز نداشت. با توجه به نتایج گزارش‌شده در جدول ۳، تغذیه مکمل چربی حاوی افزودنی لسیتین یا پودر صفر سبب افزایش غلظت پلاسمایی اسیدهای چرب غیر استریفه ( $P = 0/003$  و  $P = 0/002$ )، تری‌گلیسرید ( $P < 0/001$ )، کلسترول ( $P < 0/001$ )، لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا ( $P < 0/001$ )، لیپوپروتئین‌های با چگالی بسیار پایین گردید ( $P < 0/001$ ) اما تأثیری بر سایر فراسنجه‌های پلاسمایی شامل پروتئین کل ( $P = 0/620$  و  $P = 0/892$ )، گلوکز ( $P = 0/913$  و  $P = 0/743$ )، آلبومین ( $P = 0/845$  و  $P = 0/244$ )، اوره ( $P = 0/981$  و  $P = 0/382$ )، لیپوپروتئین با چگالی پایین ( $P = 0/999$  و  $P = 0/906$ ) و بتا‌هیدروکسی‌بوتیرات ( $P = 0/182$  و  $P = 0/105$ ) مشاهده نشد. همچنین این افزودنی‌ها تأثیر معنی‌داری بر غلظت پلاسمایی آنزیم‌های آسپاراتات آمینوترانسفراز ( $P = 0/132$  و  $P = 0/353$ ) و آلانین آمینوترانسفراز ( $P = 0/615$  و  $P = 0/866$ ) نیز نداشتند.

## بحث

### اثر بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی

قابلیت هضم ظاهری کل اسیدهای چرب در تیمارهای دریافت کننده پودر چربی گرانول و پرک فاقد افزودنی (لسیتین یا پودر صفر) حدود  $68/03$  درصد برآورد گردید (جدول ۲). در این پژوهش قابلیت هضم اسیدهای چرب ۱۶ کربنه، اسیدهای چرب ۱۸ کربنه و کل اسیدهای چرب در دو شکل فیزیکی گرانول و پرک (بدون در نظر گرفتن افزودنی استفاده‌شده در آن‌ها) افزایش پیدا نکرد. Eastridge & Firkins (1991) قابلیت هضم کل اسیدهای چرب در مکمل‌های چربی ورقه شده و مکمل چربی نسبتاً هیدروژنه شده (با میانگین اندازه ذرات  $1809$  میکرومتر) که به تغذیه گاوهای شیرده رسانده بودند را حدود  $38$  درصد برآورد نمودند و سپس پیشنهاد نمودند به‌منظور افزایش قابلیت هضم مکمل‌های چربی بایستی اندازه ذرات آن‌ها را کاهش داد. Eastridge & Firkins (2000) مکمل چربی تغذیه‌شده به شکل پودری با میانگین اندازه ذرات  $600$  میکرومتر را در مقایسه مکمل چربی با شکل فیزیکی پرک با میانگین اندازه ذرات  $1180$  میکرومتر

مورد بررسی قرار دادند که قابلیت هضم مکمل چربی پرک کمتر بود. در مقابل، در پژوهش *De Souza et al* (2017) کاهش اندازه ذرات مکمل چربی از ۶۰۰ میکرومتر به حدود ۲۸۴ میکرومتر سبب کاهش قابلیت هضم اسیدهای چرب گردید که این کاهش اندازه ذرات مکمل چربی سبب افزایش نرخ عبور اسیدهای چرب از شکمبه به روده کوچک شده و سپس این افزایش جریان اسیدهای چرب به روده باریک در بازه‌های زمانی کم، احتمالاً مازاد بر ظرفیت جذب روده باریک بوده و در نتیجه قابلیت هضم اسیدهای چرب کاهش می‌یابد (*Boerman et al.*, 2015; *Eastridge & Firkins*, 2000).

همسو با نتایج به دست آمده در این پژوهش، تغذیه مکمل‌های چربی با اندازه ذرات ۲۸۴ و ۶۰۰ میکرومتر میزان مصرف ماده خشک و مواد مغذی را تحت تأثیر قرار نداد اما برخلاف نتیجه به دست آمده در این پژوهش، افزایش اندازه ذرات مکمل چربی سبب بهبود قابلیت هضم کل اسیدهای چرب، اسیدهای چرب ۱۶ کربنه و اسیدهای چرب ۱۸ کربنه گردید (*De Souza et al.*, 2017). همچنین در مطالعه‌ای دیگر تغییر اندازه ذرات از ۱۳۶۵ میکرومتر به ۵۳۳ میکرومتر بر قابلیت هضم مواد مغذی شامل ماده آلی، خاکستر، نیتروژن، اسیدهای چرب و الیاف محلول در شوینده خنثی تأثیرگذار نبود (*Eastridge & Firkins*, 2000).

در رابطه با بررسی اثر افزودن لسیتین یا پودر صفرا به مکمل چربی گاوهای شیرده پژوهشی در دسترس نبود، بنابراین به دلیل محدودیت در اطلاعات موجود پیرامون لسیتین و پودر صفرا در نشخوارکنندگان، از پژوهش‌هایی که در آن لسیتین به جیره غذایی گاوهای شیری اضافه شده و همچنین مطالعاتی که در آن غیر نشخوارکنندگان با پودر صفرا یا لسیتین تغذیه شده‌اند نیز برای بخش بحث در خصوص نتایج این پژوهش استفاده شده است.

مطابق فرضیه این پژوهش، افزودن لسیتین و پودر صفرا به مکمل چربی سبب افزایش قابلیت هضم کل اسیدهای چرب، اسیدهای چرب ۱۶ کربنه و اسیدهای چرب ۱۸ کربنه گردید که افزایش قابلیت هضم اسید چرب ۱۶ کربنه نشان‌دهنده اثر سودمند این افزودنی‌ها بر قابلیت هضم اسیدهای چرب بدون در نظر گرفتن طول زنجیره اسید چرب است. مطالعات تغذیه‌ای افزایش قابلیت هضم اسیدهای چرب را هنگام افزودن لسیتین یا پودر صفرا به جیره‌های غذایی نشخوارکنندگان گزارش کرده‌اند (*Jenkins & Fotouhi*, 1990; *Shepardson &* *Harvatine*, 2019).

همچنین برخلاف نتایج به دست آمده در این پژوهش، افزودن لسیتین به جیره غذایی گاوهای شیرده تأثیری بر قابلیت هضم ظاهری اسیدهای چرب جیره نداشت (*Fontoura et al.*, 2021; *Wettstein et al.*, 2001). لازم به ذکر است، هر چند که در تعدادی از پژوهش‌های انجام شده در نشخوارکنندگان افزودن لسیتین محافظت نشده تأثیری بر قابلیت هضم اسیدهای چرب نداشت است، اما در مطالعات انجام شده در برخی از حیوانات غیر نشخوارکننده، قابلیت هضم ظاهری اسیدهای چرب با افزودن لسیتین محافظت نشده بهبود یافته است (*Jin et al.*, 1998; *Øverland et al.*, 1993; *Zhang et al.*, 2011). از آنجایی که لسیتین در شکمبه نشخوارکنندگان بیوهیدروژنه می‌شود قادر به

اثرگذاری بر قابلیت هضم و جذب اسیدهای چرب نیست درحالی که تزریق شیردانی لسیتین سبب افزایش جذب اسیدهای چرب در گاوهای شیرده شده است (Grummer *et al.*, 1987). بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از استراتژی‌هایی که سبب عبوری شدن لسیتین از دستگاه گوارش شود احتمالاً اثرات مثبت لسیتین را در گاوهای شیرده نیز در پی خواهد داشت (Fontoura *et al.*, 2021).

با توجه به محدودیت موجود در پژوهش‌های مرتبط با بررسی اثر تغذیه لسیتین بر قابلیت هضم مواد مغذی و در دسترس نبودن تحقیقات علمی در این حوزه، مطالعات انجام‌شده در غیر نشخوارکنندگان افزایش قابلیت هضم و جذب مواد مغذی را با افزودن لسیتین به جیره‌های غذایی گزارش کرده‌اند که نشان‌دهنده اثرات مثبت و قابل توجه مکمل‌های حاوی لیزوفسفولیپیدها است (Zampiga *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2011). با این حال در پژوهش حاضر افزودن لسیتین به مکمل‌های چربی قابلیت هضم ماده خشک مصرفی و مواد مغذی شامل پروتئین، ماده آلی، خاکستر خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی را تحت تأثیر قرار نداد.

در حیوانات غیر نشخوارکننده افزودن لسیتین سبب بهبود قابلیت هضم مواد مغذی به دلیل تنظیم بیان برخی از ژن‌های اپیتلیومی روده شده است (Brautigam *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2015). اما بر اساس پژوهشی دیگر اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه<sup>۱</sup> (PUFA) ناشی از لسیتین سبب کاهش قابلیت هضم مواد مغذی به ویژه الیاف می‌گردد (Weld & Armentano, 2017). در پژوهشی دیگر افزودن لسیتین در سطح ۰/۰۷۵ درصد ماده خشک جیره سبب کاهش قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی شد (Lee *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای برون‌تنی<sup>۲</sup>، گنجاندن مقادیر بالای لسیتین (۲ تا ۶ درصد ماده خشک جیره) سبب کاهش هضم الیاف و ماده آلی گردید (Jenkins *et al.*, 1989). با توجه به نتایج گزارش‌شده در سایر پژوهش‌ها، از آنجایی که مقدار لسیتین اضافه‌شده به پودر چربی‌های مورد استفاده در این پژوهش به صورت محافظت‌شده و به مقدار حدود ۳۲ گرم در روز به ازای هر رأسی بوده است که نه تنها اثر منفی بر تخمیر شکمبه نداشته است (عدم تأثیر بر قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی و الیاف محلول در شوینده خنثی) بلکه سبب بهبود قابلیت هضم عصاره اتری، کل اسیدهای چرب، اسیدهای چرب ۱۶ کربنه و اسیدهای چرب ۱۸ کربنه ( $P \leq 0/001$ ) در تیمارهای دریافت‌کننده پودر چربی حاوی لسیتین بوده است.

### اثر صفرا بر قابلیت هضم اسیدهای چرب

در رابطه با بررسی اثر افزودن پودر صفرا به مکمل چربی یا جیره‌ غذایی گاوهای شیرده پژوهشی در دسترس نبود، بنابراین به دلیل محدودیت در اطلاعات موجود پیرامون تغذیه پودر صفرا در نشخوارکنندگان، از مطالعاتی که در آن سایر حیوانات با پودر صفرا تغذیه‌شده‌اند نیز برای بخش بحث در خصوص نتایج این پژوهش استفاده‌شده است.

<sup>۱</sup>. Polyunsaturated fatty acids

<sup>۲</sup>. *In-vitro*

Heath & Morris (1963) به بررسی نقش صفرها در جذب چربی جیره‌ غذایی می‌ش‌ها و بره‌ها پرداختند که می‌ش‌ها با مخلوطی از علوفه، جو دو سر و حدود ۱۵ الی ۲۰ گرم گلیسیرید تغذیه می‌شدند که مشاهده گردید با حذف جریان صفرها به روده باریک غلظت لیپید در لنف روده‌ای طی ۱۰ ساعت کمتر از غلظت آن در پلاسما شده و هیچ اسید چرب ۱۴ کربنه‌ای نیز در می‌ش‌ها و بره‌ها جذب نشد. سایر پژوهش‌های انجام‌شده در حیوانات غیر نشخوارکننده نیز افزایش قابلیت هضم ظاهری اسیدهای چرب گزارش شده است (Ravindran *et al.*, 2003; Geng *et al.*, 2022; Maisonnier *et al.*, 2003). بنابراین به نظر می‌رسد به دلیل بالا بودن حجم خوارک مصرفی روزانه در گاوهای پر تولید و همچنین بالا بودن نرخ عبور مواد مغذی از دستگاه گوارش، خاصیت امولسیفایری نمک‌های صفرهای اضافه‌شده به مکمل‌های چربی سبب بهبود تشکیل میسل در روده شده که همین امر قابلیت هضم اسیدهای چرب را افزایش داده است (Macierzanka *et al.*, 2019). افزایش میزان مصرف چربی و یا افزایش جریان دئودنومی اسیدهای چرب سبب کاهش قابلیت هضم اسیدهای چرب می‌شود (Boerman *et al.*, 2015). از عوامل بالقوه کاهش قابلیت هضم اسیدهای چرب، محدودیت در امولسیون‌کنندگی یا رقابت برای مکان‌های جذبی است (Nafikov & Beitz, 2007). در نشخوارکنندگان صفرها و ترشحات صفرهای برای هضم اسیدهای چرب ضروری‌اند و همچنین صفرها تأمین‌کننده نمک‌های صفرهای و لسیتین بوده و ترشحات پانکراسی نیز تأمین‌کننده آنزیم‌هایی است که وظیفه تبدیل لسیتین به لیزولسیتین؛ و بی‌کربنات برای افزایش pH را بر عهده دارد (Bauchart, 1993; Lock *et al.*, 2006). لیزولسیتین به همراه نمک‌های صفرهای، اسیدهای چرب خوراک و میکروارگانیسیم‌ها را حل نموده و سبب تشکیل میسل می‌شود (Bionaz *et al.*, 2020). هرچند که در این پژوهش قادر به اندازه‌گیری میزان میسل تشکیل‌شده نبودیم اما احتمالاً اثرات ناشی از بهبود ظرفیت امولسیون‌کنندگی پودر صفرها سبب بهبود قابلیت هضم ظاهری اسیدهای چرب شده است.

### اثر صفرها بر قابلیت هضم مواد مغذی

در پژوهش حاضر مطابق با جدول ۲، افزودن پودر صفرها به مکمل‌های چربی قابلیت هضم مواد مغذی شامل پروتئین، ماده آلی، خاکستر و لیاف نامحلول در شوینده خنثی را تحت تأثیر قرار نداد اما سبب بهبود قابلیت هضم ماده خشک مصرفی ( $P < 0.004$ ) شد. پژوهشی مرتبط با اثر تغذیه پودر صفرها بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی در نشخوارکنندگان در دسترس نبود. باین‌حال همسو با نتیجه پژوهش حاضر تغذیه ۸۰ الی ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پودر صفرها در برخی از حیوانات تک معده‌ای سبب بهبود قابلیت هضم ظاهری ماده خشک و عصاره اتری گردید. تعاملات بین صفرها و لیاف جیره در دهه گذشته به‌طور فزاینده‌ای موردتوجه قرار گرفته است (Brownlee, 2012; Kaczmarczyk *et al.*, 2011). در مطالعات درون‌تنی<sup>۱</sup> انجام‌شده در برخی از پستانداران، تغذیه لیاف برافزایش ترشح صفرها تأثیرگذار

<sup>۱</sup> In-vivo

بوده است (Ellegård & Andersson, 2007; Lia *et al.*, 1995). یکی از دلایل آن خاصیت مهارکنندگی ظرفیت صفرا توسط الیاف تغذیه شده است که سبب تحریک ترشح صفرا می‌گردد و دلیل دیگر آن احتمالاً کاهش نفوذ پذیری سطح اپیتلیومی روده توسط الیاف بوده که منجر به جلوگیری از جذب و بازچرخش نمک‌های صفراوی از دستگاه گوارش می‌گردد (Macierzanka *et al.*, 2019; Maldonado-Valderrama *et al.*, 2011). با این حال، در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد مقدار صفرا اضافه‌شده به پودر چربی جیره‌غذایی تیمارهای آزمایشی در حدی بوده که بتواند قابلیت هضم برخی از مواد مغذی را از طریق اثرگذاری و تنظیم فعالیت آنزیم‌های هضمی روده تحت تأثیر قرار دهد (Gao *et al.*, 2023).

جدول ۲. مواد مغذی مصرف‌شده و قابلیت هضم مواد مغذی تیمارهای آزمایشی

متغیر	تیمارهای آزمایشی <sup>۱</sup>										
	P.value <sup>۲</sup>				SEM <sup>۳</sup>	۶	۵	۴	۳	۲	۱
	مقایسه متعامد										
	۴و۲	۴و۱	۴و۱	۱،۲،۳							
	با	با	با	با							
	۶و۳	۶و۳	۵و۲	۴،۵،۶							
<b>مصرف، کیلوگرم در روز</b>											
ماده خشک	۰/۷۸۷	۰/۶۹۴	۰/۹۰۲	۰/۹۴۶	۱/۲۲	۲۳/۳۸	۲۴/۰۶	۲۴/۲۸	۲۳/۸۰	۲۳/۸۱	۲۳/۸۸
ماده آلی	۰/۷۸۷	۰/۶۷۷	۰/۸۸۳	۰/۹۳۰	۱/۰۵	۲۰/۰۵	۲۰/۶۱	۲۰/۸۱	۲۰/۳۷	۲۰/۳۷	۲۰/۴۹
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	۰/۹۵۴	۰/۸۲۵	۰/۸۷۰	۰/۳۵۶	۰/۳۸	۷/۳۷	۷/۷۸	۷/۵۲	۷/۳۸	۷/۰۲	۷/۴۰
کربوهیدرات غیرالیافی	۰/۵۲۱	۰/۴۸۲	۰/۶۵۸	۰/۴۹۳	۰/۵۴	۹/۹۸	۱۰/۲۸	۱۰/۷۲	۱۰/۴۹	۱۰/۸۹	۱۰/۵۲
عصاره اتری	۰/۷۳۸	۰/۶۰۷	۰/۸۵۷	۰/۹۷۸	۰/۰۷	۱/۳۶	۱/۴۰	۱/۴۲	۱/۳۹	۱/۳۹	۱/۴۰
کل اسیدهای چرب	۰/۷۹۵	۰/۷۳۰	۰/۹۳۱	۰/۹۷۶	۰/۰۸	۱/۳۲	۱/۳۶	۱/۳۷	۱/۳۴	۱/۳۵	۱/۳۵
اسیدهای چرب ۱۶ کربنه	۰/۷۷۸	۰/۷۰۳	۰/۹۲۱	۰/۸۰۹	۰/۰۴	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۵
اسیدهای چرب ۱۸ کربنه	۰/۹۶۲	۰/۹۱۶	۰/۹۵۴	۰/۹۲۵	۰/۰۶	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۸۲
<b>قابلیت هضم، درصد</b>											
ماده خشک	۰/۰۶۴	۰/۰۰۴	۰/۲۷۵	۰/۹۲۳	۰/۸۶	۷۵/۶۱ <sup>b</sup>	۷۴/۰۷ <sup>a</sup>	۷۲/۹۶ <sup>a</sup>	۷۵/۵۶ <sup>b</sup>	۷۳/۸۳ <sup>a</sup>	۷۳/۰۴ <sup>a</sup>
ماده آلی	۰/۷۰۹	۰/۸۸۳	۰/۸۲۰	۰/۷۹۹	۰/۹۶	۷۳/۳۱	۷۲/۴۵	۷۲/۶۷	۷۲/۴۸	۷۲/۵۲	۷۲/۷۳
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	۰/۵۰۶	۰/۷۳۹	۰/۷۳۸	۰/۹۶۶	۱/۸۶	۵۴/۷۴	۵۲/۷۳	۵۳/۶۵	۵۳/۸۶	۵۳/۳۷	۵۳/۶۹
عصاره اتری	۰/۱۶۸	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۳۸۸	۰/۹۲	۷۷/۲۹ <sup>b</sup>	۷۹/۳۶ <sup>b</sup>	۷۲/۴۳ <sup>a</sup>	۷۹/۳۹ <sup>b</sup>	۷۹/۸۹ <sup>b</sup>	۷۱/۷۵ <sup>a</sup>
کل اسیدهای چرب	۰/۷۱۴	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۸۰۹	۱/۳۱	۷۶/۲۳ <sup>b</sup>	۷۵/۳۳ <sup>b</sup>	۶۸/۴۳ <sup>a</sup>	۷۵/۸۲ <sup>b</sup>	۷۵/۷۴ <sup>b</sup>	۶۷/۶۴ <sup>a</sup>
اسیدهای چرب ۱۶ کربنه	۰/۹۹۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۹۶۹	۲/۴۴	۷۳/۸۸ <sup>b</sup>	۷۳/۳۸ <sup>b</sup>	۶۴/۶۹ <sup>a</sup>	۷۳/۲۴ <sup>b</sup>	۷۳/۷۰ <sup>b</sup>	۶۵/۲۴ <sup>a</sup>

۱. تیمار ۱: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی گرانول، تیمار ۲: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی گرانول با ۵ درصد لستین، تیمار ۳: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی گرانول با ۵ درصد پودر صفر، تیمار ۴: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی پرک، تیمار ۵: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی پرک با ۵ درصد لستین، تیمار ۶: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی پرک با ۵ درصد پودر صفر.

۲. حروف مشترک در هر ردیف از هر بخش نشان‌دهنده تفاوت آماری غیر معنی‌دار ( $P > 0.05$ ) است.

۳. خطای میانگین استاندارد.

## اثر بر فراسنجه‌های خون

با توجه به عدم تأثیر شکل فیزیکی مکمل‌های چربی بر فراسنجه‌هایی نظیر میزان مصرف و قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی، در این پژوهش نیز فراسنجه‌های خون تحت تأثیر شکل فیزیکی پودر چربی‌های تغذیه‌شده قرار نگرفتند (جدول ۳). بنابراین از آنجایی که اندازه ذرات مکمل‌های چربی استفاده‌شده در پژوهش حاضر (گرانول ۱/۴۰ و پرک ۳/۲۵ میلی‌متر) از اندازه ذرات مکمل‌های چربی استفاده‌شده در پژوهش‌های فوق‌الذکر بالاتر بوده، احتمالاً توضیح‌دهنده تفاوت مشاهده‌شده در نتیجه این پژوهش باشد.

مطابق با جدول ۳، غلظت پلاسمایی تری‌گلیسرید، اسیدهای چرب غیر استریفه، کلسترول، لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا و لیپوپروتئین‌های با چگالی بسیار پایین در تیمارهای دریافت‌کننده پودر چربی حاوی افزودنی افزایش یافت اما سایر فراسنجه‌های پلاسمایی همسو با نتایج سایر پژوهش‌ها تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند (Brzóška & Kowalczyk, 2002; Akhlaghi *et al.*, 2019). سنتز تری‌گلیسریدها در سلول‌های روده برای جذب لیپیدهای جیره، در سلول‌های کبدی برای سنتز و انتقال لیپوپروتئین‌های با چگالی بسیار پایین و در سلول‌های اپیتلیومی پستان نیز برای تولید شیر ضروری هستند (Coleman & Mashek, 2011). اسید پالمیتیک پیش ماده سنتز گلیسرول-۳-فسفات استیل ترانسفراز است که وظیفه استریفه نمودن اسید چرب را برای آغاز فرآیند سنتز تری‌گلیسریدها بر عهده دارد (Carraro *et al.*, 2019; Tian *et al.*, 2022). بنابراین با توجه به افزایش قابلیت هضم ظاهری اسیدهای چرب جیره به‌ویژه اسید پالمیتیک، افزایش سنتز و نیز افزایش غلظت پلاسمایی تری‌گلیسرید حاصل شده است. افزایش غلظت پلاسمایی اسیدهای چرب غیر استریفه با تغذیه منابع چربی اشباع گزارش شده است (Prom *et al.*, 2021; Shepardson & Harvatine, 2021; Western *et al.*, 2020). همسو با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، غلظت پلاسمایی اسیدهای چرب غیر استریفه در پژوهش De Souza *et al.* (2020) که ترکیبات امولسیفایری به شیردان تزریق نموده بودند افزایش یافت. با توجه به افزایش میزان تری‌گلیسرید پلاسمایی و عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار در غلظت بتاهدیدروکسی‌بوتیرات خون، احتمالاً این افزایش غلظت اسیدهای چرب غیر استریفه در اثر جابه‌جایی چربی ذخایر بدنی نیست (Western *et al.*, 2020). بنابراین، احتمالاً افزایش غلظت در اسیدهای چرب آزاد خون در تیمارهای آزمایشی مرتبط با افزایش جذب اسیدهای چرب است. علاوه بر این، غلظت پلاسمایی اسیدهای چرب غیر استریفه مشاهده‌شده در این پژوهش (۰/۱۱۸ میلی‌اکی‌والان بر



لیتر) به طور قابل توجهی پایین تر از مقادیر مرتبط با موبیلیزاسیون چربی های بدنی ( $0/60$  میلی اکی والان بر لیتر؛ Ospina et al., 2010) بوده است.

از آنجایی که پس از هضم لیپیدهای جیره در روده و تشکیل میسل، جذب اسیدهای چرب و دی گلیسریدها از طریق میسل از دیواره روده اتفاق افتاده و نیز انتقال به بافت های هدف از طریق لیپوپروتئین های با چگالی بسیار پایین و لیپوپروتئین های با چگالی بالا اتفاق می افتد (Bauchart, 1993)، بنابراین به نظر می رسد احتمالاً به دلیل افزایش قابلیت هضم اسیدهای چرب در تیمارهای تغذیه شده با پودر چربی حاوی لسیتین و پودر صفرا و سپس افزایش جذب اسیدهای چرب، سنتز این لیپوپروتئین ها برای انتقال اسیدهای چرب خون افزایش یافته است. همچنین، افزایش در غلظت پلاسمایی لیپوپروتئین های با چگالی بالا می تواند ناشی از افزایش غلظت پلاسمایی کلسترول باشد، زیرا لیپوپروتئین های با چگالی بالا وظیفه جمع آوری کلسترول اضافی را از سلول ها و بافت های احشایی به منظور انتقال به کبد برای دفع از طریق صفرا و ساخت مجدد لیپوپروتئین های با چگالی بسیار پایین را بر عهده دارد (Bauchart, 1993).

محدودیت موجود در ظرفیت امولسیون کنندگی روده در هنگام افزایش جریان اسیدهای چرب به روده یکی از دلایل کاهش قابلیت هضم برای اسیدهای چرب و ترکیبات محلول در چربی محسوب می گردد، بنابراین افزایش و فراهم نمودن ترکیبات امولسیفایری احتمالاً تأثیر مثبتی بر قابلیت هضم اسیدهای چرب و ترکیبات محلول در چربی دارد (De Souza et al., 2020).

با توجه به افزایش قابلیت هضم اسیدهای چرب در مکمل های چربی حاوی لسیتین و پودر صفرا، احتمالاً با عبور سهم قابل توجهی از مکمل های چربی تغذیه شده از شکمبه که منجر به تأثیرگذاری اثرات امولسیفایری آن ها شده است، علاوه بر افزایش غلظت پلاسمایی اسیدهای چرب غیر استریفه خون، میزان تری گلیسرید و لیپوپروتئین های با چگالی بالا، لیپوپروتئین های با چگالی بسیار پایین و کلسترول خون نیز افزایش یافته است.

غلظت پلاسمایی گلوکز با توجه به جدول شماره ۳، تفاوت معنی داری میان تیمارهای آزمایشی نداشت. همسو با نتایج این تحقیق، De Souza et al (2020) با تزریق شیردانی مقادیر مختلفی از ترکیبات امولسیفایری تفاوت معنی داری در غلظت گلوکز خون مشاهده نکردند. در پژوهش دیگری که گوساله های پرواری روزانه مقدار  $0/5$  درصد بر اساس ماده خشک ترکیبات امولسیفایری دریافت کرده بودند، مقدار گلوکز خون تحت تأثیر قرار نگرفت (Li et al., 2017). در مطالعه ای دیگر که در آن مقادیر  $0/12$ ،  $0/24$  و  $0/36$  درصد لسیتین به جیره های غذایی گاوهای شیرده اضافه شده بود نیز بر غلظت گلوکز پلاسمایی تیمارهای آزمایشی تأثیر نداشت (Fontoura et al., 2021). به طور کلی در این پژوهش انتظار تغییرات غلظت گلوکز پلاسمایی به دلیل نقش تنظیمی انسولین و نقش گلوکوکورتیکوئیدی کبد در گاوهای شیری وجود نداشت (Aschenbach et al., 2010) که همین امر علت عدم تأثیرگذاری ترکیبات امولسیفایری استفاده شده در این پژوهش را بر غلظت پلاسمایی گلوکز در تیمارهای آزمایشی را توضیح می دهد.



جدول ۳. اثر پودر چربی با فیزیکی گرانول و پرک حاوی افزودنی‌های لسیتین یا پودر صفرا بر فراسنجه‌های خون

متغیر	تیمارهای آزمایشی <sup>۱</sup>										P.value <sup>۲</sup>
	۱					۲					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	
اسیدهای چرب غیر استریفه، μEq/L	۱۰۶/۱۳ <sup>ab</sup>	۱۲۵/۰۰ <sup>b</sup>	۱۲۴/۸۸ <sup>b</sup>	۱۰۵/۷۵ <sup>a</sup>	۱۲۳/۶۳ <sup>a</sup>	۱۲۵/۵۰ <sup>b</sup>	۵/۹۳	-/۰۹۳۹	-/۰۰۰۳	-/۰۰۰۲	-/۰۰۰۳
بتا هیدروکسی بوتیرات، mg/dL	۶/۹۲	۶/۵۴	۶/۴۷	۶/۷۶	۶/۵۵	۶/۴۹	-/۰۲۲	-/۰۸۱۳	-/۰۱۸۲	-/۰۱۰۵	-/۰۷۶۷
گلوکز، mg/dL	۶۶/۸۸	۶۵/۵۰	۶۸/۶۳	۶۷/۲۸	۶۹/۱۳	۶۶/۷۵	۱/۷۱	-/۰۵۹۳	-/۰۹۱۳	-/۰۷۴۳	-/۰۸۲۷
پروتئین کل، g/dL	۹/۶۷	۹/۵۳	۹/۸۷	۹/۷۵	۹/۷۲	۹/۵۰	-/۰۱۷	-/۰۸۱۲	-/۰۶۲۰	-/۰۸۹۲	-/۰۷۱۸
آلبومین، g/dL	۴/۳۷	۴/۲۹	۴/۵۱	۴/۳۸	۴/۴۰	۴/۵۵	-/۰۱۳	-/۰۶۲۶	-/۰۸۴۵	-/۰۲۴۴	-/۰۱۷۵
اوره، mg/dL	۱۲/۵۶	۱۲/۸۹	۱۲/۴۵	۱۲/۷۵	۱۲/۳۰	۱۲/۰۶	-/۰۳۹	-/۰۴۷۷	-/۰۹۸۱	-/۰۳۸۲	-/۰۳۹۵
تری گلیسرید، mg/dL	۱۶/۵۷ <sup>a</sup>	۱۹/۴۹ <sup>b</sup>	۱۹/۴۲ <sup>b</sup>	۱۶/۳۴ <sup>ab</sup>	۱۸/۸۶ <sup>b</sup>	۱۹/۱۰ <sup>b</sup>	-/۰۶۹	-/۰۴۹۲	<./۰۰۱	<./۰۰۱	<./۰۰۱
کلسترول، mg/dL	۲۱۶/۲۱ <sup>a</sup>	۲۳۶/۷۳ <sup>b</sup>	۲۳۸/۳۴ <sup>b</sup>	۲۱۴/۵۳ <sup>ab</sup>	۲۳۵/۴۹ <sup>b</sup>	۲۳۷/۹۰ <sup>b</sup>	۵/۵۸	-/۰۸۰۷	<./۰۰۱	<./۰۰۱	<./۰۰۱
لیپوپروتئین با چگالی بالا، mg/dL	۱۸۶/۳۴ <sup>a</sup>	۲۰۹/۲۵ <sup>b</sup>	۲۰۹/۵۳ <sup>b</sup>	۱۸۶/۱۴ <sup>a</sup>	۲۱۰/۰۵ <sup>b</sup>	۲۱۱/۱۱ <sup>b</sup>	۵/۱۹	-/۰۸۵۹	<./۰۰۱	<./۰۰۱	<./۰۰۱
لیپوپروتئین با چگالی پایین، mg/dL	۲۴/۹۰	۲۵/۶۳	۲۵/۰۵	۲۵/۱۹	۲۴/۴۷	۲۴/۹۰	۲/۳۲	-/۰۴۹۷	-/۰۹۹۹	-/۰۹۰۶	-/۰۹۰۵
لیپوپروتئین با چگالی بسیار پایین، mg/dL	۳/۳۳ <sup>a</sup>	۳/۹۰ <sup>b</sup>	۳/۸۸ <sup>b</sup>	۳/۲۷ <sup>a</sup>	۳/۷۷ <sup>b</sup>	۳/۸۲ <sup>b</sup>	-/۰۱۴	-/۰۴۸۸	<./۰۰۱	<./۰۰۱	<./۰۰۱
آسپارات آمینوترانسفراز، U/L	۶۳/۰۰	۶۵/۷۵	۶۵/۰۰	۶۱/۷۵	۶۸/۰۰	۶۵/۲۵	۲/۹۳	-/۰۸۶۲	-/۰۱۳۲	-/۰۳۵۳	-/۰۵۵۳
آلانین آمینوترانسفراز، U/L	۲۹/۹۱	۳۰/۰۲	۳۰/۳۶	۳۰/۶۹	۳۱/۹۲	۲۹/۸۰	۱/۳۲	-/۰۵۱۶	-/۰۶۱۵	-/۰۸۶۶	-/۰۵۰۲

۱. تیمار ۱: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی گرانول، تیمار ۲: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی گرانول با ۵ درصد لسیتین، تیمار ۳: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی گرانول با ۵ درصد پودر صفرا، تیمار ۴: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی پرک، تیمار ۵: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی پرک با ۵ درصد لسیتین، تیمار ۶: جیره حاوی ۲/۵ درصد پودر چربی پرک با ۵ درصد پودر صفرا.

۲. حروف مشترک در هر ردیف از هر بخش نشان دهنده تفاوت آماری غیر معنی دار ( $P > 0.05$ ) است.

## نتیجه‌گیری

افزودن ترکیبات امولسیفایری به مکمل‌های چربی مورد استفاده در جیره غذایی گاوهای شیرده موجب افزایش جذب اسیدهای چرب به‌ویژه اسیدهای چرب پالمیتیک و استتاریک می‌گردد هرچند که شکل فیزیکی آن‌ها اثرات مثبت یا منفی مشخصی در این مطالعه از خود نشان نداد. بنابراین نتایج به‌دست آمده از این پژوهش پیشنهاد می‌کند که محدودیت ظرفیت امولسیون‌کنندگی محیط روده احتمالاً یکی از دلایل کاهش قابلیت هضم اسیدهای چرب با افزایش جریان اسیدهای چرب به روده است. علاوه بر این افزودن لسیتین و یا پودر صفرا به مکمل‌های چربی سبب افزایش غلظت پلاسمایی برخی از فراسنجه‌های خونی نظیر تری‌گلیسرید، کلسترول، لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا، لیپوپروتئین‌های با چگالی بسیار پایین و اسیدهای چرب غیر استریفه می‌گردد. در نتیجه مکمل نمودن ترکیبات امولسیفایری به نحوی که پس از شکمبه آزاد شوند، احتمالاً سبب بهبود پاسخ‌های تولیدی حیوان در اوایل و اواسط دوره شیردهی گاوها می‌شود. به‌طور کلی به پژوهش‌های بیشتری در خصوص مکمل‌سازی امولسیفایرها با مکمل‌های چربی حاوی نسبت‌های متفاوتی از اسید پالمیتیک و اسید استتاریک نیاز است. در گاو‌داری‌های صنعتی بیشترین سهم هزینه‌ها مربوط به هزینه خوراک است که در این بین منابع چربی به‌عنوان یکی از اجزای گران‌قیمت تشکیل‌دهنده جیره‌ها شناخته می‌شوند. بنابراین همین امر حساسیت در انتخاب نوع منبع چربی را بر اساس حداکثر اثر بخشی آن‌ها برجسته می‌نماید. لذا هنگام انتخاب نوع منابع چربی توسط متخصصین تغذیه برای استفاده در جیره‌های غذایی گاوهای شیرده می‌بایست علاوه بر در نظر گرفتن ترکیب اسیدهای چرب موجود در آن‌ها، وجود ترکیبات بهبود دهنده گوارش‌پذیری نظیر ترکیبات امولسیفایری را در منابع پودر چربی مورد توجه قرار داد.

## تشکر و قدردانی

از شرکت کیمیا دانش الوند<sup>©</sup> به‌منظور حمایت مالی و فراهم نمودن مکمل‌های چربی حاوی لسیتین و پودر صفرا کمال تشکر و قدردانی را داریم. همچنین از گروه علوم دامی دانشگاه تهران به‌منظور فراهم نمودن شرایط اجرای این طرح آزمایشی سپاسگزاریم.

## منابع

- Akhlaghi, B., Ghorbani, G. R., Alikhani, M., Kargar, S., Sadeghi-Sefidmazgi, A., Rafiee-Yarandi, H., & Rezamand, P. (2019). Effect of production level and source of fat supplement on performance, nutrient digestibility and blood parameters of heat-stressed Holstein cows. *J Anim Sci Technol*, 61(6), 313-323. doi: 10.22069/EJRR.2017.12144.1496. (In Persian).
- Alzawqari, M., Moghaddam, H. N., Kermanshahi, H., & Raji, A. R. (2011). The effect of desiccated ox bile supplementation on performance, fat digestibility, gut morphology and blood chemistry of broiler chickens fed tallow diets. *Journal of Applied Animal Research*, 39(2), 169-174. <https://doi.org/10.22067/ijasr.v5i1.24502>.

- AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis* (18 ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Aschenbach, J. R., Kristensen, N. B., Donkin, S. S., Hammon, H. M., & Penner, G. B. (2010). Gluconeogenesis in dairy cows: the secret of making sweet milk from sour dough. *IUBMB life*, *62*(12), 869-877. <http://dx.doi.org/10.1002/iub.400>.
- Bauchart, D. (1993). Lipid absorption and transport in ruminants. *Journal of Dairy Science*, *76*(12), 3864-3881. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77728-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77728-0).
- Bionaz, M., Vargas-Bello-Pérez, E., & Busato, S. (2020). Advances in fatty acids nutrition in dairy cows: from gut to cells and effects on performance. *Journal of Animal Science Biotechnol*, *11*(1), 110. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00512-8>.
- Boerman, J., Firkins, J., St-Pierre, N., & Lock, A. (2015). Intestinal digestibility of long-chain fatty acids in lactating dairy cows: A meta-analysis and meta-regression. *Journal of Dairy Science*, *98*(12), 8889-8903. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9592>.
- Brautigam, D., Li, R., Kubicka, E., Turner, S., Garcia, J., Weintraut, M., & Wong, E. (2017). Lysolecithin as feed additive enhances collagen expression and villus length in the jejunum of broiler chickens. *Poultry Science*, *96*(8), 2889-2898. <https://doi.org/10.3382/ps/pex078>.
- Brownlee, I. A. (2011). The physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids*, *25*(2), 238-250. <https://doi.org/10.3382/ps/pex078>.
- Brzóška, F., & Kowalczyk, J. (2002). Milk yield, composition and cholesterol level in dairy cows fed ration supplemented with zinc and fatty acids calcium salts. *Journal of Animal and Feed Sciences*, *11*(3), 411-424. <https://doi.org/10.22358/jafs/67831/2002>.
- Carraro, P. C., Da Silva, E. D., & Oliveira, D. E. (2019). Palmitic acid increases the abundance of mRNA of genes involved in de novo synthesis of fat in mammary explants from lactating ewes. *Small Ruminant Research*, *174*, 99-102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.02.020>.
- Chamberlain, M., & DePeters, E. (2017). Impacts of feeding lipid supplements high in palmitic acid or stearic acid on performance of lactating dairy cows. *Journal of Applied Animal Research*, *45*(1), 126-135. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1124327>.
- Coleman, R. A., & Mashek, D. G. (2011). Mammalian triacylglycerol metabolism: synthesis, lipolysis, and signaling. *Chemical Reviews*, *111*(10), 6359-6386. <https://doi.org/10.1021%2Fcr100404w>.
- De Souza, J., Garver, J., Preseault, C., & Lock, A. (2017). Effects of prill size of a palmitic acid-enriched fat supplement on the yield of milk and milk components, and nutrient digestibility of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *100*(1), 379-384. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11610>.
- De Souza, J., Preseault, C., & Lock, A. (2018). Altering the ratio of dietary palmitic, stearic, and oleic acids in diets with or without whole cottonseed affects nutrient digestibility, energy partitioning, and production responses of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *101*(1), 172-185. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13460>.
- De Souza, J., Western, M., & Lock, A. (2020). Abomasal infusion of an exogenous emulsifier improves fatty acid digestibility and milk fat yield of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *103*(7), 6167-6177. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18239>.

- Drackley, J. K. (1999). Biology of Dairy Cows During the Transition Period: the Final Frontier? *Journal of Dairy Science*, 82(11), 2259-2273. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75474-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75474-3).
- Eastridge, M., & Firkins, J. (1991). Feeding hydrogenated fatty acids and triglycerides to lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 74(8), 2610-2616. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(91\)78439-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(91)78439-7).
- Eastridge, M., & Firkins, J. (2000). Feeding tallow triglycerides of different saturation and particle size to lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 83(3-4), 249-259. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00135-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00135-2).
- Ellegård, L., & Andersson, H. (2007). Oat bran rapidly increases bile acid excretion and bile acid synthesis: an ileostomy study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(8), 938-945. <http://dx.doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602607>.
- Firkins, J., & Eastridge, M. (1994). Assessment of the effects of iodine value on fatty acid digestibility, feed intake, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 77(8), 2357-2366. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77178-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77178-2).
- Folch, J., Lees, M., & Stanley, G. H. S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226(1), 497-509. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5).
- Fontoura, A., Rico, J., Davis, A., Myers, W., Tate, B., Gervais, R., & McFadden, J. (2021). Effects of dietary deoiled soy lecithin supplementation on milk production and fatty acid digestibility in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1823-1837. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18797>.
- Freeman, C. (1969). Properties of fatty acids in dispersions of emulsified lipid and bile salt and the significance of these properties in fat absorption in the pig and the sheep. *British Journal of Nutrition*, 23.249-263,(2). <https://doi.org/10.1079/bjn19690032>.
- Gao, Y., Yao, Y., Huang, J., Sun, Y., Wu, Q., Guo, D., & Wang, S. (2023). Effect of dietary bile acids supplementation on growth performance, feed utilization, intestinal digestive enzyme activity and fatty acid transporters gene expression in juvenile leopard coral grouper (*Plectropomus leopardus*). *Frontiers in Marine Science*, 10, 1171344. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101491>.
- Geng, S., Zhang, Y., Cao, A., Liu, Y., Di, Y., Li, J., Lou, Q., & Zhang, L. (2022). Effects of Fat Type and Exogenous Bile Acids on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Lipid Metabolism and Breast Muscle Fatty Acid Composition in Broiler Chickens. *Animals*, 12(10), 1258. <https://doi.org/10.3390/ani12101258>.
- Grummer, R., Armentano, L., & Marcus, M. (1987). Lactation response to short-term abomasal infusion of choline, inositol, and soy lecithin. *Journal of Dairy Science*, 70(12), 2518-2524.
- Heath, T., & Morris, B. (1963). The role of bile and pancreatic juice in the absorption of fat in ewes and lambs. *British Journal of Nutrition*, 17(1), 465-474. <https://doi.org/10.1079/BJN19630050>.
- Ichihara, K. i., & Fukubayashi, Y. (2010). Preparation of fatty acid methyl esters for gas-liquid chromatography[S]. *Journal of Lipid Research*, 51(3), 635-640. <https://doi.org/https://doi.org/10.1194/jlr.D001065>.
- Jenkins, T. (1993). Lipid metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 76(12), 3851-3863. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77727-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77727-9).
- Jenkins, T., & Fotouhi, N. (1990). Effects of lecithin and corn oil on site of digestion, ruminal fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *Journal of Animal Science*, 68(2), 460-466. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0921-4488(94)90102-3).
- Jenkins, T., Gimenez, T., & Cross, D. (1989). Influence of phospholipids on ruminal fermentation in vitro and on nutrient digestion and serum lipids in sheep. *Journal of Animal Science*, 67(2), 529-537. <https://doi.org/10.2527/jas1989.672529x>.

- Jin, C., Kim, J., Han, I. K., Jung, H., & Kwon, C. (1998). Effects of various fat sources and lecithin on the growth performances and nutrient utilization in pigs weaned at 21 days of age. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *11*(2), 17-184. <https://doi.org/10.5713/ajas.1998.176>.
- Kaczmarczyk, M. M., Miller, M. J., & Freund, G. G. (2012). The health benefits of dietary fiber: beyond the usual suspects of type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease and colon cancer. *Metabolism*, *61*(8), 1058-1066. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2012.01.017>.
- Kim, C.-H., Kim, J. N., Ha, J. K., Yun, S. G., & Lee, S. S. (2004). Effects of dietary addition of surfactant Tween 80 on ruminal fermentation and nutrient digestibility of Hanwoo steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *17*(3), 337-342. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2004.337>.
- Lee, C., & Hristov, A. N. (2013). Short communication: Evaluation of acid-insoluble ash and indigestible neutral detergent fiber as total-tract digestibility markers in dairy cows fed corn silage-based diets. *Journal of Dairy Science*, *96*(8), 5295-5299. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6442>.
- Lee, C., Morris, D., Copelin, J., Hettick, J., & Kwon, I. (2019). Effects of lysophospholipids on short-term production, nitrogen utilization, and rumen fermentation and bacterial population in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *102*(4), 3110-3120. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15777>.
- Lee, S. S., & Ha, J. K. (2003). Influences of surfactant Tween 80 on the gas production, cellulose digestion and enzyme activities by mixed rumen microorganisms. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *16*(8), 1151-1157. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2003.1151>
- Li, X. Z., Park, B. K., Hong, B. C., Ahn, J. S., & Shin, J. S. (2017). Effect of soy lecithin on total cholesterol content, fatty acid composition and carcass characteristics in the Longissimus dorsi of Hanwoo steers (Korean native cattle). *Animal Science Journal*, *88*(6), 847-853. <http://dx.doi.org/10.1111/asj.12660>.
- Lia, A., Hallmans, G., Sandberg, A.-S., Sundberg, B., Aman, P., & Andersson, H. (1995). Oat beta-glucan increases bile acid excretion and a fiber-rich barley fraction increases cholesterol excretion in ileostomy subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *62*(6), 1245-1251. <https://doi.org/10.1093/ajcn/62.6.1245>.
- Lock, A. L., Harvatine, K. J., Drackley, J. K., & Bauman, D. E. (2006). Concepts in fat and fatty acid digestion in ruminants. *Proc. Intermountain Nutr. Conf.*
- Macierzanka, A., Torcello-Gómez, A., Jungnickel, C., & Maldonado-Valderrama, J. (2019). Bile salts in digestion and transport of lipids. *Advances in Colloid and Interface Science*, *274*, 102045. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.102045>.
- Maisonnier, S., Gomez, J., Bree, A., Berri, C., Baeza, E., & Carre, B. (2003). Effects of microflora status, dietary bile salts and guar gum on lipid digestibility, intestinal bile salts, and histomorphology in broiler chickens. *Poultry Science*, *82*(5), 805-814. <https://doi.org/10.1093/ps/82.5.805>.
- Maldonado-Valderrama, J., Wilde, P., Macierzanka, A., & Mackie, A. (2011). The role of bile salts in digestion. *Advances in Colloid and Interface Science*, *165*(1), 36-46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2010.12.002>.
- McFadden, J. (2019). Dietary lecithin supplementation in dairy cattle.
- Nafikov, R. A., & Beitz, D. C. (2007). Carbohydrate and Lipid Metabolism in Farm Animals<sup>1</sup>. *The Journal of Nutrition*, *137*(3), 702-705. <https://doi.org/10.1093/jn/137.3.702>.

- Nardi, R. d., Marchesini, G., Tenti, S., Contiero, B., Andrighetto, I., & Segato, S. (2012). Lecithin as a supplement for mid-lactating dairy cows. *Acta Agriculturae Slovenica*, *100*(Suppl. 3), 67-70.
- NRC, I. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. *National Research Council*, 519.
- Ospina, P. A., Nydam, D. V., Stokol, T., & Overton, T. R. (2010). Evaluation of nonesterified fatty acids and  $\beta$ -hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *Journal of Dairy Science*, *93*(2), 546-554. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2277>.
- Øverland, M., Tokach, M., Cornelius, S., Pettigrew, J., & Rust, J. (1993). Lecithin in swine diets: I. Weanling pigs. *Journal of Animal Science*, *71*(5), 1187-1193. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(94\)00055-C](https://doi.org/10.1016/0301-6226(94)00055-C).
- Palmquist, D. (1991). Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, *74*(4), 1354-1360. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78290-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78290-8).
- Palmquist, D., & Jenkins, T. (2017). A 100-Year Review: Fat feeding of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *100*(12), 10061-10077. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-12924>.
- Prom, C., dos Santos Neto, J., Newbold, J., & Lock, A. (2021). Abomasal infusion of oleic acid increases fatty acid digestibility and plasma insulin of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *104*(12), 12616-12627. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20954>.
- Ravindran, V., Tanchoenrat, P., Zaefarian, F., & Ravindran, G. (2016). Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Animal Feed Science and Technology*, *213*, 1-21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.01.012>.
- Rico, D., Ying, Y., & Harvatine, K. (2017). Effects of lysolecithin on milk fat synthesis and milk fatty acid profile of cows fed diets differing in fiber and unsaturated fatty acid concentration. *Journal of Dairy Science*, *100*(11), 9042-9047. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12976>.
- Shepardson, R., & Harvatine, K. (2019). Effect of oleic acid and lecithin in saturated fatty acid supplements on production and nutrient digestibility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*.
- Shepardson, R., & Harvatine, K. (2021). Effects of fat supplements containing different levels of palmitic and stearic acid on milk production and fatty acid digestibility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *104*(7), 7682-7695. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19665>.
- Song, P., Zhang, Y., & Klaassen, C. D. (2011). Dose-response of five bile acids on serum and liver bile Acid concentrations and hepatotoxicity in mice. *Toxicol Science*, *123*(2), 359-367. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfr177>.
- Tian, Z., Zhang, Y., Zhang, H., Sun, Y., Mao, Y., Yang, Z., & Li, M. (2022). Transcriptional regulation of milk fat synthesis in dairy cattle. *Journal of Functional Foods*, *96*, 105-208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105208>.
- Van Soest, P. J., 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](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Weld, K., & Armentano, L. (2017). The effects of adding fat to diets of lactating dairy cows on total-tract neutral detergent fiber digestibility: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, *100*(3), 1766-1779. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11500>.



Western, M. M., de Souza, J., & Lock, A. L. (2020). Effects of commercially available palmitic and stearic acid supplements on nutrient digestibility and production responses of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *103*(6), 5131-5142. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17242>.

Wettstein, H. R., Scheeder, M. R., Sutter, F., & Kreuzer, M. (2001). Effect of lecithins partly replacing rumen-protected fat on fatty acid digestion and composition of cow milk. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *1*, 12-22. [http://dx.doi.org/10.1002/1438-9312\(200101\)103:13.3.CO;2-O](http://dx.doi.org/10.1002/1438-9312(200101)103:13.3.CO;2-O).

Zampiga, M., Meluzzi, A., & Sirri, F. (2016). Effect of dietary supplementation of lysophospholipids on productive performance, nutrient digestibility and carcass quality traits of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, *15*(3) 521-528. <http://dx.doi.org/10.1080/1828051X.2016.1192965>.

Zhang, B., Haitao, L., Zhao, D., Guo, Y., & Barri, A. (2011). Effect of fat type and lysophosphatidylcholine addition to broiler diets on performance, apparent digestibility of fatty acids, and apparent metabolizable energy content. *Animal Feed Science and Technology*, *163*(2-4), 177-184. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.10.004>.

Zhao, P., Li, H., Hossain, M., & Kim, I. (2015). Effect of emulsifier (lysophospholipids) on growth performance, nutrient digestibility and blood profile in weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*, *20*(3), 190-195. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.06.007>.

## Extended Abstract

### Introduction

The addition of fat supplements to the diet of dairy cows is a common method to increase the energy content of the ration. Protected fats have been developed commercially, which are normally based on saturated fatty acids like palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0). The micelles are necessary for the digestion of lipids because they contain a mixture of bile acids and salt, lecithin, lysolecithin, monoglycerides, cholesterol, and fatty acids, which are necessary for the absorption of lipids into intestinal cells. The ability of pancreatic lipase, colipase, and phospholipases to efficiently digest triglycerides and phospholipids in the diet of ruminants requires the presence of bile salts and lysolecithin to engender emulsifying properties and micelle formation. Lysolecithin is a potent emulsifier that is produced from the enzymatic hydrolysis of lecithin and facilitates the digestion of fatty acids. Bile salts play a role as an emulsifier and facilitate the digestion and absorption of fats and fat-soluble nutrients. Particle size and physical form of saturated fat supplements have been suggested as an effective factor on fatty acid digestibility and production responses in dairy cows. At this moment, there is no study that has investigated the effects of augmenting emulsifying compounds such as lecithin or bile powder to fat supplements with different particle sizes on blood parameters and the digestibility of nutrients in the digestive tract of high-producing Holstein dairy cows. Therefore, the present research has investigated the effect of the physical form of the saturated fat supplement containing lecithin or bile powder on the digestibility of nutrients and some blood parameters in Holstein dairy cows.

### Material and method

48 lactating Holstein cows (lactation:  $130 \pm 21$ ; milk production:  $38.4 \pm 1$ , weight:  $590 \pm 12$ ) during two experimental periods (24 cows in each period) in a  $2 \times 3 \times 2$  completely randomized factorial design used and were randomly grouped into 6 experimental treatments by using silver saturated fat supplement (Kimia Danesh Alvand<sup>®</sup>, Qom, Iran): 1. Control diet + 2.5% granulated fat supplement, 2. Control diet + 2.5% granulated fat supplement containing 5% lecithin 3. Control diet + 2.5% granulated fat supplement containing 5% bile powder 4. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement 5. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement containing 5% lecithin and 6. Control diet + 2.5% Flaked fat supplement containing 5% bile powder. All the experimental diets were balanced to have the same amount of nitrogen and energy and met the nutrient requirements of the animals according to the recommendations of the National

Research Association. To prepare the bile powder, the gallbladders were collected from the slaughtered and transferred to the laboratory, then homogenized and filtered through nylon filters, and then the bile powder was obtained by drying at 60°C for 24 hours. After the analysis of DM and nutrient content in the feed and feces samples, the apparent digestibility was determined by using the internal indicator of acid-insoluble ash. In order to evaluate plasma parameters, including glucose, triglyceride, cholesterol, high-density lipoproteins, low-density lipoproteins, total protein, albumin, urea, AST, ALT, NEFA, and BHBA the BT1500 ELISA was used. Eventually, all test data were analyzed by using SAS statistical software and MIXED procedure.

## **Results and discussion**

The digestibility of total fatty acids, 16 and 18 carbon of fatty acids increased in treatments fed with fat powder containing additives (lecithin or bile powder) ( $P \leq 0.05$ ). Feeding fat supplements containing lecithin or bile powder increased plasma concentrations of NEFA, triglycerides, cholesterol, high-density lipoproteins, and very low-density lipoproteins ( $P \leq 0.05$ ), but had no effect on other plasma parameters including total protein, albumin, and urea, low-density lipoprotein, and BHBA. The increase in the digestibility of fatty acids in lecithin and bile powder groups has led to an increase in the plasma concentration of NEFA, triglyceride, HDL, VLDL, and cholesterol.

## **Conclusion**

Adding emulsifying ingredients to bypass saturated fat supplements in the diet of dairy cows increases the absorption of fatty acids, especially palmitic, and stearic acids. Moreover, saturated fat supplements containing lecithin or bile increase the plasma concentration of some blood parameters such as triglycerides, cholesterol, HDL, VLDL, and NEFA.