چالش‌های اقتصادی و تغذیه‌ای منابع چربی در خوراک طیور

نسل جدید امولسیفایرهای سنتتیک بر پایه پلی‌اتیلن گلیکول ریسینولئات (PEGR)؛ راهکاری نوین و کارآمد برای افزایش بهره‌وری انرژی خوراک



دکتر الهه دانش – دامپزشک (DVM)
Elaheh.danesh@damilka.com
دکتر محمد یوسفی – دامپزشک، دکتری تخصصی بیماری‌های طیور (DVM) / (DVSc)
Mohammad.yousefi@damilka.com
شرکت دام ایلکا – www.damilka.com
Info@damilka.com

چکیده

استفاده بهینه از انرژی جیره، یکی از مهم‌ترین چالش‌های تغذیه‌ای محسوب می‌گردد. چربی‌ها به‌عنوان متراکم‌ترین منبع انرژی در جیره، نقش مهمی در تأمین انرژی مورد نیاز حیوان ایفا می‌نمایند؛ با توجه به ماهیت آب‌گریزی چربی‌ها، فرآیند هضم و جذب آن‌ها در دستگاه گوارش با محدودیت‌هایی مواجه است. کاهش کارایی هضم چربی علاوه بر افت بهره‌برداری انرژی، می‌تواند عملکرد رشد، ضریب تبدیل خوراک، سلامت دستگاه گوارش و هزینه‌های تولید را تحت تأثیر قرار دهد. در سال‌های اخیر، استفاده از امولسیفایرهای خوراکی به‌عنوان یکی از راهکارهای نوین تغذیه‌ای، با هدف بهبود فرآیند امولسیون‌سازی، افزایش قابلیت هضم چربی و ارتقای بهره‌وری انرژی مورد توجه قرار گرفته است. در این میان، نسل جدید امولسیفایرهای سنتتیک بر پایه پلی‌اتیلن گلیکول ریسینولئات (PEGR)، به دلیل برخورداری از ویژگی‌های ساختاری مناسب، HLB ایده‌آل، پایداری بهینه در شرایط فیزیولوژیک دستگاه گوارش و کارایی مطلوب در استفاده از منابع مختلف چربی، به‌عنوان یکی از استراتژی‌های نوین تغذیه‌ای مطرح شده‌اند. در این مقاله، فیزیولوژی هضم و جذب چربی، نقش امولسیفایرها در افزایش بهره‌وری انرژی، ویژگی‌ها و مزایای ولامل اکسترا® (Volamel Extra®) به‌عنوان یک امولسیفایر سنتتیک نسل جدید بر پایه PEGR، بررسی شده است.

واژگان کلیدی: چربی، لیپاز، نمک‌های صفراوی، هضم چربی، انرژی قابل متابولیسم، ضریب تبدیل خوراک، سلامت روده، امولسیفایر، ولامل اکسترا®، پلی‌اتیلن گلیکول ریسینولئات (PEGR)، تعادل آب‌دوستی–چربی‌دوستی (HLB Value)

۱- مقدمه

چربی‌ها یکی از مهم‌ترین اجزای جیره غذایی بوده و متراکم‌ترین منبع انرژی در جیره محسوب می‌گردند؛ به‌طوری‌که در مقایسه با کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها، دارای بیشترین تراکم انرژی در میان درشت‌مغذی‌های جیره می‌باشند. چربی‌ها منبعی از اسیدهای چرب ضروری بوده و نقش اساسی در سلامت، رشد و تولید حیوانات، جذب و انتقال ویتامین‌های محلول در چربی، حفظ یکپارچگی غشای سلولی، تنظیم پاسخ‌های ایمنی و بهبود کیفیت لاشه ایفا می‌نمایند. از این‌رو، استفاده بهینه از انرژی موجود در منابع چربی، یکی از اهداف اصلی متخصصان تغذیه در فرمولاسیون جیره محسوب می‌گردد. با وجود ارزش تغذیه‌ای بالا، هضم و جذب چربی‌ها به دلیل نامحلول بودن آن‌ها در محیط آبی دستگاه گوارش، نیازمند همکاری هماهنگ نمک‌های صفراوی و آنزیم لیپاز و تشکیل میسل است. افزایش قابلیت هضم چربی، بهبود بهره‌وری انرژی، حفظ عملکرد تولید و کاهش هزینه خوراک، از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های نوین تغذیه‌ای به شمار می‌روند (Oketch و همکاران، ۲۰۲۳).

۲- چالش‌های تغذیه‌ای و اقتصادی در استفاده بهینه از منابع چربی

۲-۱- کیفیت منابع چربی و اثر آن بر بهره‌وری انرژی

در سال‌های اخیر، افزایش قیمت و نوسان کیفیت منابع چربی مورد استفاده در خوراک، همراه با ضرورت بهینه‌سازی هزینه‌های تولید، اهمیت استفاده مؤثر از انرژی جیره را بیش از پیش نمایان ساخته است. از این‌رو، بهبود قابلیت هضم و استفاده بهینه از چربی‌های جیره، علاوه بر جنبه تغذیه‌ای، از نظر اقتصادی نیز اهمیت ویژه‌ای یافته است. به‌طور کلی، روغن‌های غنی از اسیدهای چرب غیراشباع، مانند روغن سویا و کلزا، در مقایسه با منابع غنی از اسیدهای چرب اشباع، مانند روغن پالم و چربی‌های حیوانی، قابلیت هضم بالاتری داشته و استفاده از منابع چربی ارزانتر با درصد بالای اسیدهای چرب اشباع، می‌تواند کارایی هضم و انرژی قابل متابولیسم در جیره را کاهش دهد. این موضوع به‌ویژه در شرایطی که کیفیت مواد اولیه متغیر است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. علاوه بر نوع و ترکیب اسیدهای چرب، کیفیت روغن‌های مصرفی نیز نقش مهمی در قابلیت هضم و ارزش تغذیه‌ای آن‌ها دارد. اکسیداسیون روغن‌ها و افزایش میزان اسیدهای چرب آزاد، کیفیت تغذیه‌ای روغن را کاهش داده و در نتیجه قابلیت هضم و جذب چربی را محدود می‌نماید. از این‌رو، در صنعت طیور، انتخاب منبع چربی

نباید صرفاً بر پایه قیمت اقتصادی انجام شود، بلکه کیفیت، میزان اکسیداسیون و قابلیت هضم چربی نیز باید در فرمولاسیون جیره مورد توجه قرار گیرد.

۲-۲- محدودیت‌های فیزیولوژیک هضم چربی در طیور و آبزیان

محدودیت‌های فیزیولوژیک دستگاه گوارش نیز بر کارایی هضم و جذب چربی‌ها تأثیرگذار است. در جوجه‌های گوشتی، رشد سریع، دوره پرورش کوتاه و وابستگی شدید ضریب تبدیل خوراک به تأمین انرژی قابل متابولیسم، موجب شده است که حتی بهبود جزئی در قابلیت هضم چربی بتواند اثر قابل‌توجهی بر افزایش وزن بدن، بهبود ضریب تبدیل خوراک و کاهش هزینه‌های تولید داشته باشد. از سوی دیگر، در روزهای ابتدایی زندگی، سیستم گوارش جوجه هنوز به تکامل عملکردی کامل نرسیده و ترشح نمک‌های صفراوی و فعالیت آنزیم لیپاز محدودتر است؛ در نتیجه فرآیندهای امولسیون، هیدرولیز و جذب چربی با کارایی کمتری انجام می‌شوند. این محدودیت سبب می‌شود بخشی از انرژی بالقوه موجود در چربی‌ها مورد استفاده قرار نگیرد و بر رشد جوجه و ضریب تبدیل خوراک اثر منفی بگذارد. بنابراین بهبود بهره‌برداری از چربی‌های جیره در این دوره، یکی از چالش‌های اصلی متخصصان تغذیه محسوب می‌شود. در همین راستا، Michels و همکاران در سال ۲۰۲۵ نشان داده‌اند که بهبود امولسیون‌سازی و افزایش سرعت هیدرولیز چربی، بیشترین تأثیر را در جوجه‌های جوان دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که اثر امولسیفایرها بر قابلیت استفاده از چربی و بهبود عملکرد تولیدی، در هفته‌های ابتدایی پرورش بارزتر است؛ دوره‌ای که دستگاه گوارش هنوز به تکامل کامل نرسیده و ظرفیت هضم چربی محدودتر می‌باشد (Tancharoenrat و همکاران، ۲۰۱۳).

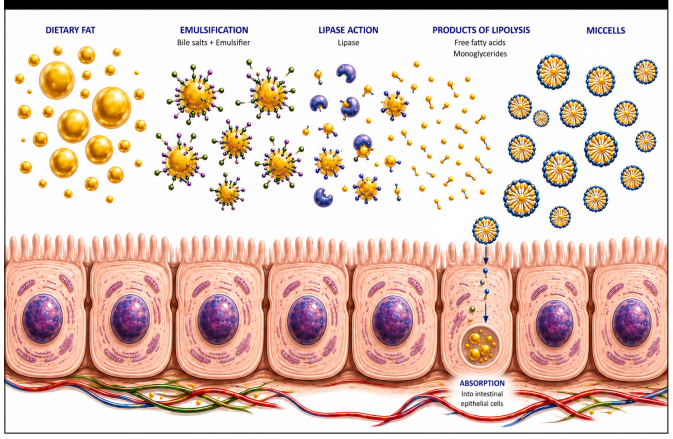
از سوی دیگر، سرعت عبور خوراک از دستگاه گوارش طیور نسبتاً کم بوده و بسته به سن، نوع جیره و شرایط پرورش متغیر است. این زمان محدود موجب می‌شود که فرآیند امولسیون، هیدرولیز و جذب چربی، فرصت محدودی برای تکمیل داشته باشد. بنابراین هر عاملی که بتواند سرعت و کارایی هضم چربی را افزایش دهد، موجب می‌شود که بخش بیشتری از انرژی موجود در خوراک پیش از خروج محتویات از دستگاه گوارش جذب شده و در اختیار حیوان قرار گیرد. در صورت هضم ناقص چربی، بخشی از لیپیدها و سایر ترکیبات همراه با آن بدون جذب به بخش‌های انتهایی روده می‌رسند. این ترکیبات می‌توانند به بستری مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌های فرصت‌طلب تبدیل شوند. در نتیجه، تعادل طبیعی میکروبی روده (Eubiosis) برهم خورده و احتمال بروز دیس‌بایوزیس، التهاب روده، افزایش رطوبت بستر و افت عملکرد تولیدی بیشتر می‌گردد. در مقابل، هضم و جذب مؤثر چربی‌ها و سایر مواد مغذی، با کاهش مواد هضم‌نشده در روده، به حفظ تعادل میکروبی، سلامت دستگاه گوارش و بهبود عملکرد تولید کمک می‌نماید (Oketch و همکاران، ۲۰۲۳). اهمیت استفاده از امولسیفایرها در آبزیان نیز به دلیل وابستگی زیاد متابولیسم چربی به شرایط محیطی و کیفیت منابع انرژی، مورد توجه قرار گرفته است. این چالش‌ها تنها به صنعت طیور محدود نبوده و در آبزی‌پروری نیز به‌ویژه در شرایط تغییرات محیطی و نوسانات کیفیت خوراک، اهمیت قابل‌توجهی دارند. افزایش دمای آب، به‌ویژه در مناطق مهم آبزی‌پروری مانند آسیای جنوب شرقی، مدیترانه و شمال اقیانوس اطلس، به یکی از عوامل مؤثر بر عملکرد تولیدی تبدیل شده است. این تغییرات محیطی با تأثیر بر مصرف خوراک و رشد آبزیان چالش‌های جدیدی را برای صنعت آبزی‌پروری ایجاد کرده است (Barange و همکاران، ۲۰۱۸). آبزیان، به ویژه در مراحل اولیه‌ی رشد و تحت تأثیر تنش‌های محیطی، با محدودیت‌های قابل‌توجهی در هضم و جذب چربی‌ها مواجه‌اند. هضم چربی در ماهی وابسته به دما بوده و نوسانات دمای آب که امروزه در اثر تغییرات اقلیمی شدت یافته است، می‌تواند موجب کاهش مصرف خوراک، فعالیت آنزیم‌های گوارشی و کارایی هضم مواد مغذی، از جمله چربی‌ها، گردد؛ عواملی که مستقیماً رشد ناکافی، افزایش ضریب تبدیل غذایی و افت سودآوری را سبب می‌شوند (de Jong و همکاران، ۲۰۲۶). در چنین شرایطی، استفاده از راهکارهای تغذیه‌ای که بتوانند بدون افزایش هزینه فرمولاسیون، بهره‌وری انرژی جیره را افزایش دهند، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین این راهکارها، استفاده از امولسیفایرهای خوراکی است.

۳- نقش امولسیفایرها در فرآیند هضم و جذب چربی‌ها

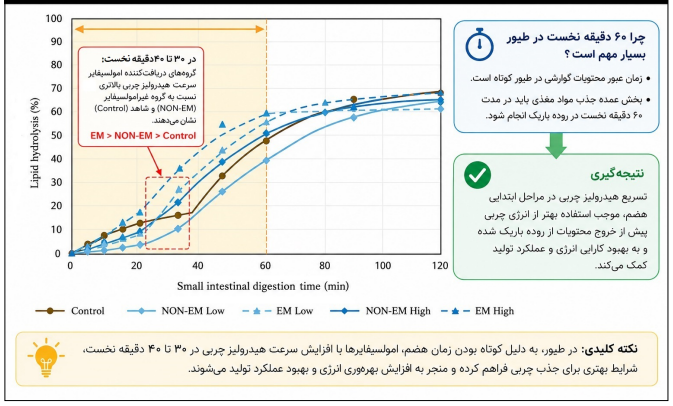
چربی‌ها به دلیل ماهیت آب‌گریز خود، در محیط آبی دستگاه گوارش تمایل به تشکیل ذرات بزرگ‌تر داشته و برای افزایش سطح تماس با آنزیم‌های گوارشی، نیازمند فرآیند امولسیون‌سازی و تشکیل میسل‌ها می‌باشند (Ravindran و همکاران، ۲۰۱۶). امولسیفایرهای خوراکی ضمن کاهش کشش سطحی بین مولکول‌های آب، با دارا بودن بخش‌های آب‌دوست و چربی‌دوست، در سطح مشترک بین فاز چربی و محیط آبی قرار گرفته و با کاهش کشش بین‌سطحی، موجب پراکنده شدن قطرات چربی و تشکیل امولسیون‌های پایدارتر می‌شوند. کاهش اندازه قطرات چربی، سطح تماس بیشتری را برای عملکرد آنزیم لیپاز فراهم کرده و در نتیجه هیدرولیز تری‌گلیسیریدها به اسیدهای چرب آزاد و مونوگلیسیریدها تسهیل می‌شود. پس از هیدرولیز چربی‌ها، اسیدهای چرب آزاد و مونوگلیسیریدها همراه با نمک‌های صفراوی، ساختارهایی را به نام میسل‌ها تشکیل می‌دهند. این ساختارها نقش مهمی در انتقال ترکیبات چربی‌دوست در محیط آبی روده و رساندن آن‌ها به سطح سلول‌های اپی‌تلیال روده دارند. بنابراین، بهبود فرآیند تشکیل میسل و انتقال لیپیدها می‌تواند موجب افزایش جذب چربی و ویتامین‌های محلول در چربی گردد. امولسیفایرهای افزودنی در خوراک (Exogenous Emulsifiers)، با کاهش اندازه ذرات چربی و افزایش سطح تماس آن‌ها با آنزیم لیپاز، تشکیل میسل‌ها را تسهیل کرده و انتقال اسیدهای چرب آزاد و مونوگلیسیریدها به سطح سلول‌های اپی‌تلیال روده را بهبود می‌بخشند (Gholami و همکاران، ۲۰۲۴) (شکل ۱).

با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از فرآیند هضم و جذب مواد مغذی در روده باریک طی مدت کوتاهی پس از ورود خوراک انجام می‌شود، افزایش سرعت دسترسی چربی‌ها به آنزیم‌های گوارشی و تسریع فرآیند هیدرولیز تری‌گلیسیریدها اهمیت ویژه‌ای دارند. مطالعات انجام‌شده بر روی جوجه‌های گوشتی نشان داده‌اند که افزودن امولسیفایرها می‌تواند در مراحل ابتدایی هضم، به‌ویژه طی ۳۰ تا ۴۰ دقیقه نخست، سرعت هیدرولیز چربی‌ها را نسبت به گروه شاهد افزایش دهد؛ موضوعی که

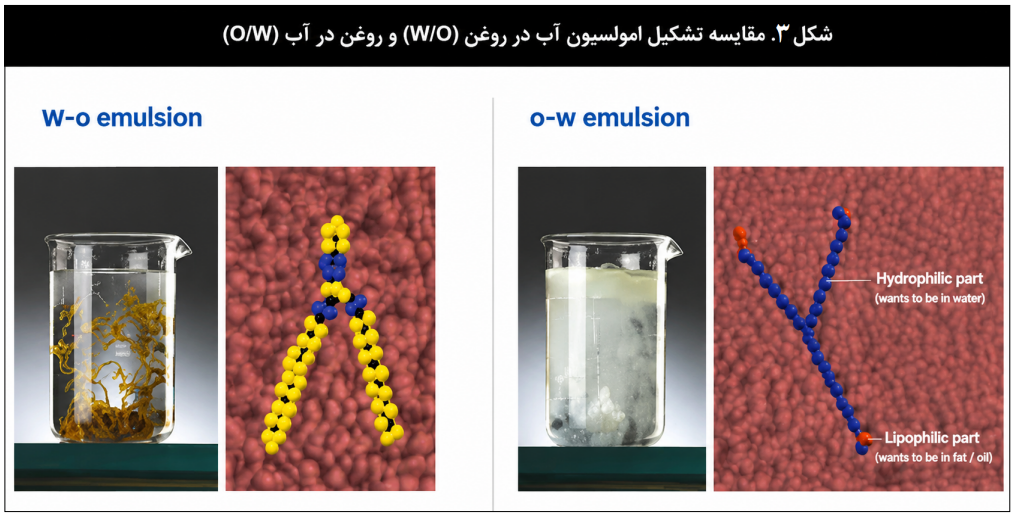
شکل ۱. مراحل امولسیون سازی، هیدرولیز و جذب چربی در دستگاه گوارش با کمک امولسیفایرهای خوراکی



شکل ۲. تأثیر امولسیفایرهای خوراکی بر سرعت هیدرولیز چربی در روده باریک



شکل ۳. مقایسه تشکیل امولسیون آب در روغن (W/O) و روغن در آب (O/W)



جدول ۱. مقایسه ویژگی‌های تغذیه‌ای چربی‌های غیراشباع و اشباع در جیره غذایی

ویژگی	چربی‌های غیراشباع (Unsaturated Fats)	چربی‌های اشباع (Saturated Fats)
نمونه‌های رایج	روغن سویا، روغن کلزا، روغن ذرت، روغن آفتابگردان و روغن ماهی باکیفیت	روغن پالم، تالو و برخی چربی‌های حیوانی
قابلیت هضم در طیور	معمولاً بالاتر، به‌ویژه در جوجه‌های جوان	پایین‌تر، به‌خصوص برای اسیدهای چرب اشباع زنجیره بلند
تشکیل میسل و جذب روده‌ای	مناسب‌تر به دلیل پراکندگی بهتر در محیط روده	محدودتر و تشکیل ضعیف‌تر میسل
انرژی قابل متابولیسم	معمولاً بالاتر به دلیل قابلیت هضم بیشتر	وابسته به ترکیب اسیدهای چرب و معمولاً پایین‌تر نسبت به روغن‌های غیراشباع
پاسخ به امولسیفایرهای خوراکی	خوب؛ در شرایط افزایش چربی جیره یا محدودیت هضم بیشتر مشاهده می‌شود	بهینه؛ به دلیل نیاز به بهبود امولسیون و جذب چربی

نشان‌دهنده نقش این ترکیبات در تسریع فرآیند آماده‌سازی چربی برای جذب و افزایش بهره‌برداری از انرژی جیره است (Michels و همکاران، ۲۰۲۵) (شکل ۲).

۴-تأثیر نوع و کیفیت منابع چربی بر پاسخ به امولسیفایرها

کارایی امولسیفایرهای خوراکی تنها به ویژگی‌های ساختاری خود امولسیفایر وابسته نیست، بلکه به نوع، کیفیت و ترکیب منابع چربی مورد استفاده در جیره نیز وابسته است. از دیدگاه تغذیه‌ای، منابع چربی بر اساس درجه اشباع اسیدهای چرب، میزان اسیدهای چرب آزاد (Free Fatty Acids; FFA) و کیفیت فرآوری، تفاوت‌های قابل‌توجهی در قابلیت هضم دارند. این عوامل تعیین می‌کنند که افزودن امولسیفایرها تا چه اندازه می‌تواند بهره‌وری انرژی جیره را افزایش دهد. به‌طور کلی، روغن‌های گیاهی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع مانند روغن سویا، کلزا، آفتابگردان و ذرت، به دلیل ساختار مولکولی مناسب‌تر، نسبت به منابع غنی از اسیدهای چرب اشباع نظیر روغن پالم، پیه گاو و سایر چربی‌های حیوانی، قابلیت هضم بالاتری دارند. در مقابل، منابع حاوی درصد بالاتری از اسیدهای چرب اشباع، به‌ویژه در جوجه‌های جوان که دستگاه گوارش آن‌ها هنوز به تکامل عملکردی کامل نرسیده و ترشح نمک‌های صفراوی و فعالیت لیپاز محدودتر است، با کاهش کارایی امولسیون‌سازی و هضم همراه می‌باشند. در چنین شرایطی، استفاده از امولسیفایرها می‌تواند بخشی از این محدودیت فیزیولوژیک را جبران کرده و قابلیت استفاده از انرژی این منابع را افزایش دهد. علاوه بر درجه اشباع، میزان اسیدهای چرب آزاد نیز یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت منابع چربی محسوب می‌شود. روغن‌های باکیفیت، معمولاً دارای مقادیر پایین اسیدهای چرب آزاد بوده و از پایداری اکسیداتیو و ارزش تغذیه‌ای بالاتری برخوردارند. در مقابل، برخی منابع چربی اقتصادی و محصولات جانبی پالایش روغن‌های نباتی، مانند روغن‌های اسیدی حاصل از پالایش روغن سویا (Soybean Acid Oil; SAO) و روغن پالم (Palm Acid Oil; PAO)، به دلیل محتوای بالاتر اسیدهای چرب آزاد (FFA)، معمولاً قابلیت هضم و ارزش انرژی پایین‌تری نسبت به روغن‌های تصفیه‌شده دارند. مطالعات متعدد نشان داده است که پاسخ به استفاده از امولسیفایرها در جیره‌های حاوی منابع چربی با کیفیت پایین‌تر، درصد بالاتر اسیدهای چرب آزاد یا نسبت بیشتر اسیدهای چرب اشباع، معمولاً چشمگیرتر است. ضمنا در این شرایط پرنده برای استفاده از منابع چربی بایستی مقادیر بالاتری لیپاز جهت هضم این منبع بی‌کیفیت استفاده نماید. در چنین شرایطی، امولسیفایرها با افزایش پایداری امولسیون، کاهش اندازه ذرات چربی، افزایش دسترسی آنزیم لیپاز و بهبود فرآیند تشکیل میسل، می‌توانند محدودیت‌های موجود در هضم و جذب چربی‌ها را تا حد زیادی برطرف کرده و انرژی قابل متابولیسم جیره را افزایش دهند. از این‌رو، انتخاب صحیح منبع چربی در کنار استفاده هدفمند از امولسیفایر، یکی از ابزارهای مهم متخصصان تغذیه برای افزایش انعطاف‌پذیری فرمولاسیون و بهینه‌سازی هزینه خوراک محسوب می‌گردد (جعفری‌خورشیدی و همکاران، ۱۳۹۳) (جدول ۱).

۵- تکامل امولسیفایرهای خوراکی

۵-۱- تعادل آب‌دوستی-چربی دوستی (HLB)

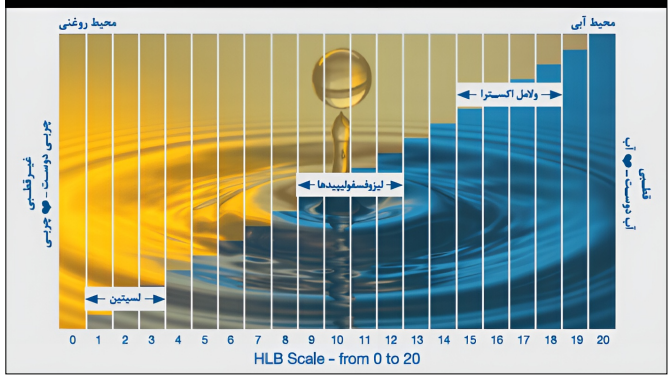
امولسیفایرهای مورد استفاده در تغذیه طیور و آبزیان طی سال‌های اخیر از نظر ساختار شیمیایی و عملکرد فیزیولوژیک، روند تکاملی قابل‌توجهی را طی کرده‌اند. یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی ویژگی‌های عملکردی امولسیفایرها، تعادل آب‌دوستی-چربی‌دوستی (Hydrophilic-Lipophilic Balance; HLB) است. این شاخص میزان تمایل یک امولسیفایر به فاز آبی یا چربی را نشان داده و بر نوع و پایداری امولسیون ایجادشده تأثیرگذار است. مقادیر HLB در مقیاسی از ۰ تا ۲۰ تعریف می‌شوند. هرچه مقدار HLB کمتر باشد، تمایل ترکیب به فاز چربی بیشتر بوده و برای تشکیل امولسیون‌های آب در روغن (Water-in-Oil) مناسب‌تر است. در مقابل، افزایش مقدار HLB نشان‌دهنده آب‌دوستی بیشتر امولسیفایر و توانایی بالاتر آن در تشکیل امولسیون‌های روغن در آب (Oil-in-Water) است (شکل ۳).

از آنجا که محیط دستگاه گوارش پرندگان عمدتاً آبی است، امولسیفایرهایی با HLB مناسب و تمایل بیشتر به تشکیل امولسیون‌های روغن در آب، می‌توانند شرایط مناسب‌تری برای افزایش تماس چربی با آنزیم‌های گوارشی فراهم کنند. بر اساس منشأ و ساختار شیمیایی، امولسیفایرهای مورد استفاده در تغذیه حیوانات شامل ترکیبات طبیعی مانند لسیتین، مشتقات فسفولیپیدی مانند لیزوفسفولیپیدها و امولسیفایرهای سنتتیک می‌باشند. نسل نخست این ترکیبات عمدتاً شامل امولسیفایرهای طبیعی مانند لسیتین بوده که اگرچه در بهبود امولسیون‌سازی چربی‌ها نقش داشتند، اما به دلیل میزان پایین تعادل آب‌دوستی-چربی‌دوستی (HLB≈ ۲-۳) و تمایل بیشتر به فاز چربی، عمدتاً امولسیون‌های آب در روغن ایجاد کرده و کارایی محدودی در محیط آبی دستگاه گوارش از خود نشان می‌دادند. در ادامه، مشتقات فسفولیپیدی نظیر لیزوفسفولیپیدها با افزایش نسبی ویژگی آب‌دوستی و برخورداری از HLB حدود ۸ تا ۱۱، موجب بهبود عملکرد امولسیفایری و افزایش قابلیت هضم چربی‌ها گردیدند؛ با این حال، عملکرد آن‌ها همچنان تحت تأثیر شرایط فیزیولوژیک دستگاه گوارش و کیفیت منبع اولیه قرار داشت (Siyal و همکاران، ۲۰۱۷).

۵-۲- معرفی نسل جدید امولسیفایرهای بر پایه PEGR

در سال‌های اخیر، امولسیفایرهای سنتتیک بر پایه PEGR توسعه یافته‌اند که به دلیل برخورداری از HLB بالا (حدود ۱۸)، حلالیت مناسب در محیط آبی و توانایی تشکیل امولسیون‌های پایدار روغن در آب (Oil-in-Water)، عملکرد مؤثرتری نشان می‌دهند. با این حال، باید توجه داشت که افزایش بیش از حد HLB الزاماً به معنای افزایش کارایی امولسیفایر در تغذیه حیوانات نیست. ترکیباتی با HLB بسیار بالا (۱۸ تا ۲۰) مانند برخی شوینده‌ها و سورفکتانت‌های صنعتی، اگرچه از آب‌دوستی بالایی برخوردار می‌باشند، اما به دلیل ویژگی‌های ساختاری و عملکردی خود، برای کاربردهای تغذیه‌ای مناسب نبوده و قادر به بهبود مؤثر

شکل ۴. مقایسه محدوده HLB امولسیفایرهای مورد استفاده در تغذیه حیوانات



شکل ۵. آزادسازی انرژی قابل متابولیسم (AME) براساس سطوح چربی اشباع و غیراشباع

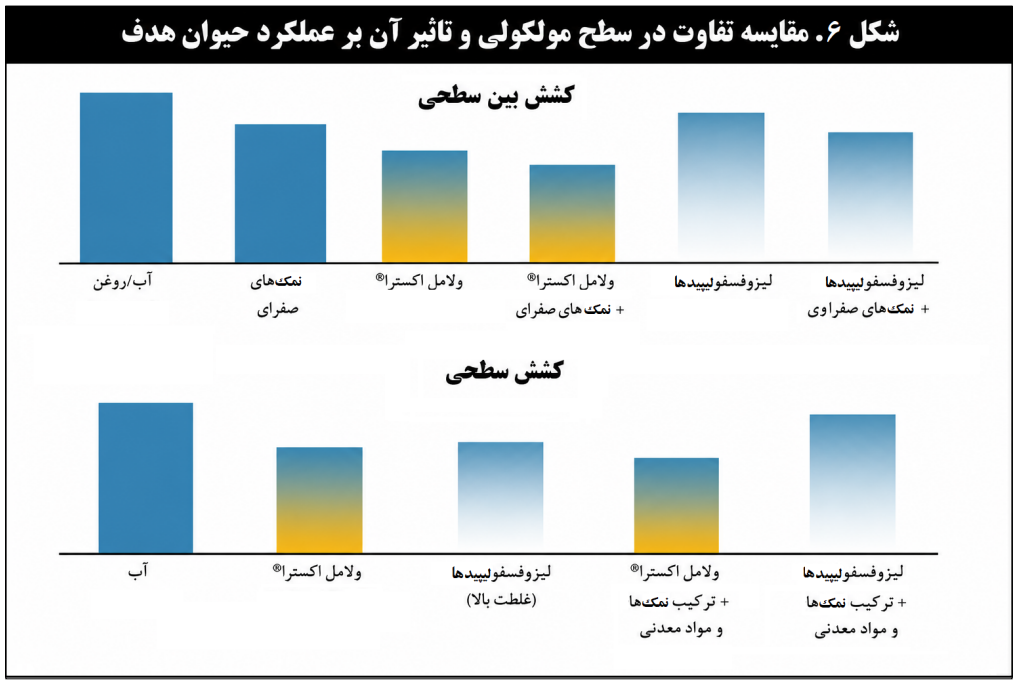
LOW ENERGY DENSE DIETS → ADDED FAT LEVEL ≤ 2%
DOSAGE VOLAMEL = 250-350 PPM

AME upgrade (matrix value) In kcal / kg feed	High U/S	Low U/S
Low FFA	50	80
High FFA	70	100

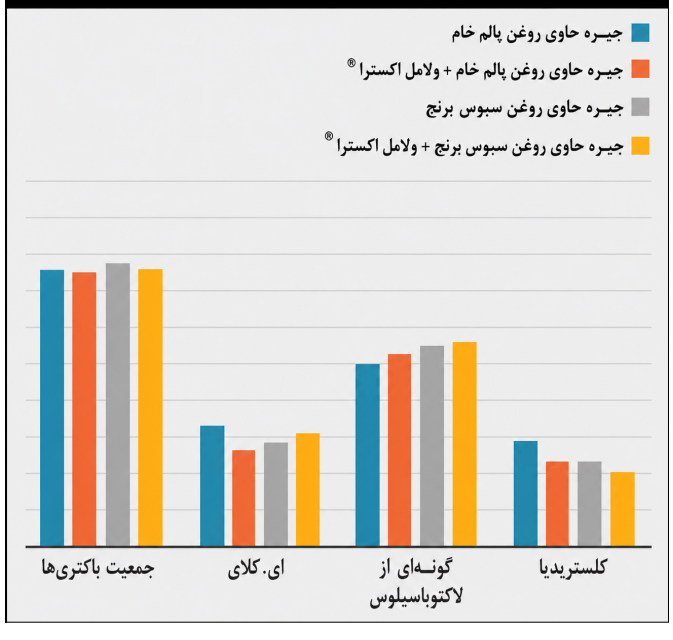
HIGH ENERGY DENSE DIETS → ADDED FAT LEVEL > 2%
DOSAGE VOLAMEL = 350-500 PPM

AME upgrade (matrix value) In kcal / kg feed	High U/S	Low U/S
Low FFA	70	100
High FFA	90	120

شکل ۶. مقایسه تفاوت در سطح مولکولی و تاثیر آن بر عملکرد حیوان هدف



شکل ۷. تأثیر ولامل اکسترا® بر تعادل میکروبی روده در جوجه‌های گوشتی



فرآینـد هضـم چربـی نخواهنـد بـود (شـکل ۴).

بنابرایـن، انتخـاب امولسـیفایرهای خوراکـی نیازمنـد تعـادل مناسـب بیـن ویژگی‌هـای آب‌دوسـتی و چربی‌دوسـتی و سـازگاری بـا شـرایط فیزیولوژیـک دسـتگاه گـوارش اسـت. از آنجـا کـه نسـبت آب بـه خـوراک در روده باریـک پرنـدگان حـدود یـک و نیـم تـا دو برابـر اسـت، امولسـیفایرهایی بـا HLB مناسـب کـه قـادر بـه تشـکیل امولسـیون‌های روغـن در آب می‌باشـند، تطابـق بیشـتری بـا شـرایط فیزیولوژیـک دسـتگاه گـوارش داشـته و می‌تواننـد عملکـردی مشـابه نمک‌هـای صفـراوی طبیعـی در فراینـد امولسیون‌سـازی چربی‌هـا از خـود نشـان دهنـد. اسـتفاده از ایـن امولسـیفایرها می‌توانـد بهره‌بـرداری از انـرژی جیـره را افزایـش داده، انعطاف‌پذیـری فرمولاسـیون خـوراک را بهبـود بخشـد و در نهایـت امـکان اسـتفاده مؤثرتـر از منابـع چربـی بـا کیفیت‌هـای متفـاوت را فراهـم کنـد (Michels و همـکاران، ۲۰۲۵). ولامـل اکسـترا® یکـی از امولسـیفایرهای تغذیـه‌ای نسـل جدیـد بـر پایـه PEGR اسـت. کـه بـا هـدف بهینه‌سـازی هضـم و جـذب چربـی در شـرایط فیزیولوژیـک دسـتگاه گـوارش طراحـی شـده اسـت. مطالعـات انجام‌شـده در جوجه‌هـای گوشـتی نشـان داده کـه اسـتفاده از امولسـیفایرهای بـر پایـه Glyceryl Polyethylene Glycol Ricinoleate (GPGR) می‌توانـد بـا افزایـش قابلیـت هضـم چربـی و بهبـود انـرژی قابـل متابولیسـم جیـره، موجـب ارتقـای شـاخص‌های عملکـردی و افزایـش بهره‌بـرداری از انـرژی خـوراک شـود (Zulkifli و همـکاران، ۲۰۱۹؛ Roy و همـکاران، ۲۰۱۰). در ادامـه، ویژگی‌هـای سـاختاری، نحـوه عملکـرد و مزایـای کاربـردی ولامـل اکسـترا® در تغذیـه طیـور و آبزیـان بررسـی خواهـد شـد.

۶-تأثیـر امولسـیفایرها بـر افزایـش بهـره‌وری انـرژی حاصـل از چربـی جیـره

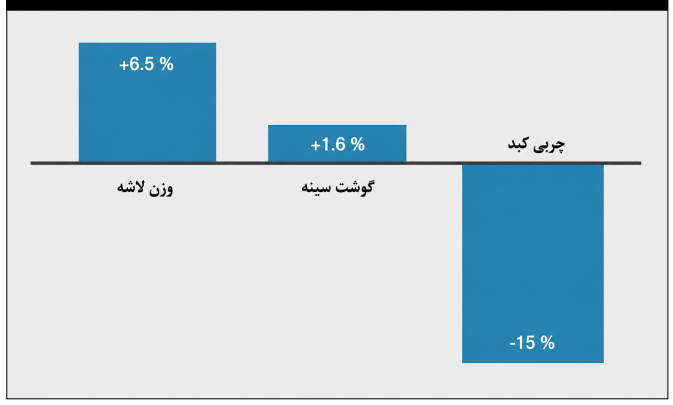
کارایـی امولسـیفایرهای تغذیـه‌ای در افزایـش بهره‌بـرداری از انـرژی چربـی، تحـت تأثیـر ترکیـب شـیمیایی منبـع چربـی و ویژگی‌هـای جیـره قـرار دارد. بـر اسـاس ارزیابی‌هـای تغذیـه‌ای انجام‌شـده توسـط شـرکت تولیدکننـده محصـول Volamel Extra®، میـزان افزایـش انـرژی قابـل متابولیسـم (AME matrix value) حاصـل از مصـرف امولسـیفایر بـه عواملـی نظیـر سـطح چربـی افزوده‌شـده در جیـره، نسـبت اسـیدهای چـرب غیراشـباع بـه اشـباع (U/S ratio) و میـزان اسـیدهای چـرب آزاد (FFA) وابسـته اسـت. نتایـج ایـن ارزیابی‌هـا نشـان داد کـه بیشـترین افزایـش بهـره‌وری انـرژی زمانـی مشـاهده می‌شـود کـه جیـره حـاوی منابـع چربـی بـا قابلیـت هضـم پایین‌تـر باشـد؛ به‌ویـژه در شـرایطی کـه نسـبت اسـیدهای چـرب غیراشـباع بـه اشـباع پایین‌تـر بـوده یـا میـزان اسـیدهای چـرب آزاد افزایـش یافتـه باشـد. ایـن موضـوع بـه دلیـل محدودیـت بیشـتر ایـن منابـع در فراینـد امولسیون‌سـازی طبیعـی، تشـکیل میسـل و جـذب اسـیدهای چـرب در روده اسـت. در جیره‌هـای بـا تراکـم انـرژی پاییـن (سـطح چربـی افزوده‌شـده ≥ ۲ درصـد)، اسـتفاده از Volamel Extra® در سـطح ۲۵۰ تـا ۳۵۰ گـرم در تـن خـوراک، بسـته بـه کیفیـت چربـی مصرفـی، می‌توانـد موجـب بهبـود بهـره‌وری انـرژی جیـره در محـدوده تقریبـی ۵۰ تـا ۱۰۰ کیلوکالـری بـه ازای هـر کیلوگـرم خـوراک شـود. در جیره‌هـای بـا تراکـم انـرژی بـالا (سـطح چربـی افزوده‌شـده < ۲ درصـد)، ایـن افزایـش بـا مصـرف ۳۵۰ تـا ۵۰۰ گـرم در تـن خـوراک ولامـل اکسـترا® در محـدوده تقریبـی ۷۰ تـا ۱۲۰ کیلوکالـری بـه ازای هـر کیلوگـرم خـوراک گـزارش شـده اسـت. در جیـره‌ای کـه از منبـع چربـی بـا کیفیـت مناسـب، اسـیدهای چـرب آزاد پاییـن و نسـبت بالاتـر اسـیدهای چـرب غیراشـباع بـه اشـباع اسـتفاده شـده اسـت، حیـوان قـادر اسـت بخـش بیشـتری از چربـی را بـدون کمـک اضافـی هضـم و جـذب کنـد؛ بنابرایـن اثـر امولسـیفایر در آزادسـازی انـرژی محدودتـر بـوده و افزایـش انـرژی قابـل متابولیسـم ممکـن اسـت در حـدود ۵۰ تـا ۷۰ کیلوکالـری بـه ازای هـر کیلوگـرم خـوراک باشـد. در مقابـل، در جیره‌هایـی کـه از چربی‌هـای بـا قابلیـت هضـم پایین‌تـر، سـطح بالاتـر اسـیدهای چـرب آزاد یـا سـهم بیشـتر اسـیدهای چـرب اشـباع اسـتفاده می‌شـود، جـذب چربـی بـا محدودیـت بیشـتری مواجـه اسـت. در ایـن شـرایط، افـزودن امولسـیفایر می‌توانـد موجـب افزایـش قابلیـت دسترسـی چربـی شـده و میـزان انـرژی آزادشـده را تـا حـدود ۱۰۰ تـا ۱۲۰ کیلوکالـری بـه ازای هـر کیلوگـرم خـوراک افزایـش دهـد. بنابرایـن، پاسـخ بـه امولسـیفایر ثابـت نبـوده و وابسـته بـه کیفیـت و قابلیـت هضـم منبـع چربـی اسـت. در منابـع چربـی بـا درصـد بالاتـر اسـیدهای چـرب اشـباع یـا FFA بـالا، بـه دلیـل نیـاز بیشـتر بـه بهبـود پراکندگـی چربـی، افزایـش دسترسـی لیپـاز و تشـکیل میسـل‌های پایـدار، پتانسـیل افزایـش انـرژی قابـل متابولیسـم (AME matrix value) بیشـتر خواهـد بـود (شـکل ۵).

۷- ویژگی‌هـا و مزایـای کاربـردی ولامـل اکسـترا®

امولسـیفایر ولامـل اکسـترا® بـه دلیـل ماهیـت غیریونـی خـود، از پایـداری مناسـبی در دامنـه متغیـر pH دسـتگاه گـوارش برخـوردار بـوده و برخـلاف لسـیتین و لیزوفسـفولیپیدها، تحـت تأثیـر نمک‌هـا و مـواد معدنـی موجـود در روده قـرار نمی‌گیـرد. بـا توجـه بـه اینکـه حضـور ایـن ترکیبـات در روده می‌توانـد کارایـی بسـیاری از امولسـیفایرها را کاهـش دهـد، پایـداری ولامـل اکسـترا® در چنیـن شـرایطی اهمیـت ویـژه‌ای پیدا می‌کنـد. ایـن محصـول بـا کاهـش کشـش سـطحی بیـن مولکول‌هـای آب حتـی در حضـور نمک‌هـای صفـراوی، عملکـرد مؤثـر خـود را در ایـن زمینـه حفـظ کـرده اسـت. عـلاوه بـر ایـن، ولامـل اکسـترا® بـا کاهـش قابل‌توجـه کشـش بین‌سـطحی میـان فـاز چربـی و محیـط آبـی، شـرایط مناسـب‌تری بـرای پراکندگـی ذرات چربـی و دسترسـی بهتـر آنزیم‌هـای گوارشـی فراهـم می‌نمایـد. در حضـور نمک‌هـای صفـراوی، ایـن اثـر تقویـت شـده و کاهـش بیشـتری در کشـش بین‌سـطحی مشـاهده می‌شـود. عملکـرد ایـن امولسـیفایر از لیزوفسـفولیپیدها (به‌تنهایـی یـا در حضـور نمک‌هـای صفـراوی) بـه وضـوح برتـری دارد کـه نشـان‌دهنده توانایـی بـالا در ایجـاد شـرایط ایـده‌آل بـرای هضـم و جـذب بهتـر چربی‌هـا می‌باشـد. همچنیـن، پایـداری حرارتـی مطلـوب ایـن ترکیـب در فرآیندهـای تولیـد خـوراک، از جملـه پلتسـازی و اکسـتروژن، موجـب حفـظ اثربخشـی آن در شـرایط مختلـف فـرآوری و تغذیـه‌ای می‌شـود (شـکل ۶).

مطالعـات انجـام شـده بـا امولسـیفایرهای خوراکـی مختلـف نشـان داده کـه اسـتفاده از ایـن افزودنی‌هـا بـا افزایـش بهـره‌وری انـرژی خـوراک می‌توانـد بـه ارتقـای شـاخص‌های عملکـردی ماننـد افزایـش وزن و ضریـب تبدیـل خـوراک (FCR) کمـک نمایـد (Ahmadi-Sefat و همـکاران، ۲۰۲۲). در آبزیـان، اهمیـت امولسـیفایرهای دارای HLB بـالا بـه دلیـل وابسـتگی فرآینـد هضـم چربـی بـه شـرایط محیطـی، به‌ویـژه دمـای آب، بیشـتر مـورد توجـه قـرار گرفتـه اسـت. افزایـش دمـای آب می‌توانـد بـا کاهـش مصـرف خـوراک، تغییـر فعالیـت آنزیم‌هـای گوارشـی و کاهـش کارایـی متابولیسـم مـواد مغـذی، عملکـرد رشـد را تحـت تأثیـر قـرار دهـد. در چنیـن شـرایطی، اسـتفاده از امولسـیفایرهای کارآمـد می‌توانـد بـه حفـظ بهـره‌وری خـوراک و افزایـش تـاب‌آوری آبزیـان در برابـر تنش‌هـای محیطـی کمـک نمایـد. ولامل اکسـترا® به‌عنـوان یـک امولسـیفایر سـنتتیک بـر پایـه PEGR، دارای ویژگی‌هایـی نظیـر پایـداری در شـرایط فیزیولوژیـک دسـتگاه گـوارش و حفـظ عملکـرد در شـرایط متغیـر تغذیـه‌ای اسـت. عـلاوه

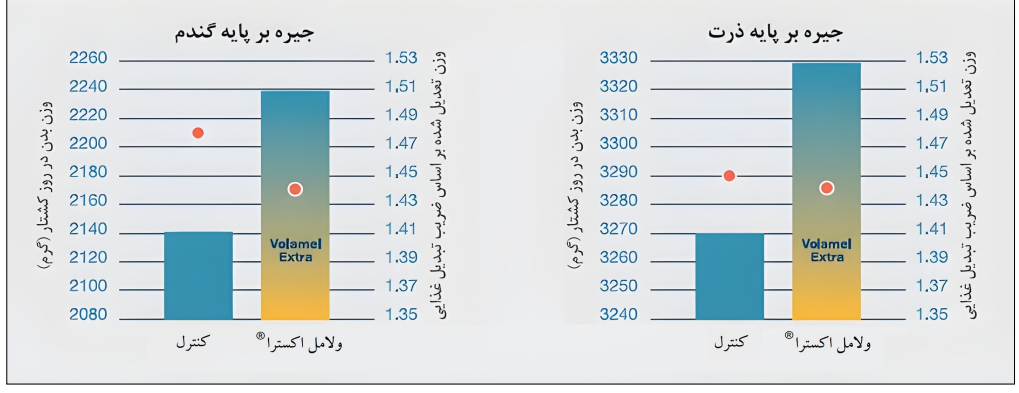
شکل ۸. تأثیر ولامل اکسترا® بر پارامترهای کشتار جوجه‌های گوشتی



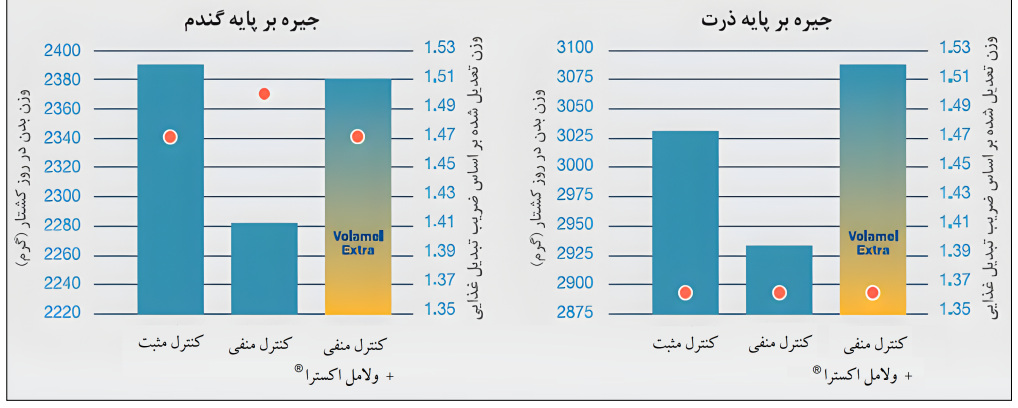
جدول ۲. تاثیر ولامل اکسترا® بر کاهش چسبندگی مقعد در جوجه‌های گوشتی

ولامل اکسترا®	کنترل	سن
۱۵٪	۴۰٪	۱۰ روزگی >
۰٪	۱۸٪	۲۰-۱۰ روزگی

شکل ۹. تأثیر افزودن ولامل اکسترا® به‌صورت مکمل روی جیره فعلی (On Top)



شکل ۱۰. افزودن ولامل اکسترا® همراه با کاهش انرژی متابولیسمی (ME Reduction)



جدول ۳. محدوده انرژی متابولیسمی (ME) بر اساس نوع و میزان چربی جیره

ولامل اکسترا®	Kcal/Kg	۲۱۰۰۰۰ - ۲۲۰۰۰۰

بر این، به حفظ پایداری عملکرد حیوان در شرایط تغییر کیفیت مواد اولیه نیز کمک می‌نماید. بهبود فرآیند هضم و کاهش دفع ترکیبات هضم‌نشده می‌تواند با کاهش رطوبت بستر، کاهش چسبندگی مقعد در جوجه‌های گوشتی و حمایت از سلامت کبد و دستگاه گوارش همراه باشد.

۱-۷- سلامت دستگاه گوارش

سلامت دستگاه گوارش و کارایی هضم مواد مغذی به‌طور متقابل بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند. هضم ناقص چربی موجب می‌شود بخشی از لیپیدها، اسیدهای چرب و سایر ترکیبات هضم نشده بدون جذب به بخش‌های انتهایی روده منتقل شوند. تجمع این ترکیبات، بستر مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌های فرصت‌طلب فراهم کرده و می‌تواند تعادل طبیعی میکروبی روده (Eubiosis) را برهم‌زند. در نتیجه، احتمال بروز دیس‌بایوزیس و التهاب روده، افزایش رطوبت بستر و افت عملکرد تولیدی افزایش می‌یابد. در مقابل، بهبود امولسیون‌سازی و افزایش قابلیت هضم چربی، میزان مواد هضم‌نشده ورودی به بخش انتهایی روده (Hindgut) را کاهش داده و شرایط مطلوب‌تری برای استقرار و فعالیت میکروبیوتای مفید فراهم می‌نماید. این موضوع علاوه بر حفظ سلامت مخاط روده، موجب بهبود جذب مواد مغذی و افزایش کارایی استفاده از انرژی جیره می‌شود. ولامل اکسترا® سبب افزایش جمعیت باکتری‌های مفید در بخش انتهایی روده و بهبود شاخص‌های سلامت دستگاه گوارش می‌گردد (شکل ۷).

۲-۷- بهبود کیفیت لاشه

بهبود قابلیت هضم و جذب چربی، علاوه بر افزایش بهره‌وری انرژی جیره، می‌تواند بر نحوه استفاده از انرژی و توزیع آن در بافت‌های بدن نیز تأثیرگذار باشد. هنگامی که اسیدهای چرب با کارایی بیشتری هضم و جذب شوند، دسترسی بدن به انرژی و مواد مغذی مورد نیاز برای رشد افزایش یافته و می‌تواند به بهبود عملکرد رشد و کاهش تجمع چربی‌های اضافی کمک نماید. همچنین، افزایش دسترسی اسیدهای چرب برای مسیرهای متابولیکی بدن می‌تواند بر نحوه مصرف و ذخیره انرژی در بافت‌های مختلف اثرگذار باشد. علاوه بر این، جذب بهتر اسیدهای چرب ضروری و ویتامین‌های محلول در چربی می‌تواند در بهبود کیفیت گوشت، ویژگی‌های لاشه و حفظ سلامت کبد نقش داشته باشد. در یک مطالعه انجام شده بر روی جوجه‌های گوشتی، نشان داده شد که استفاده از امولسیفایرهای سنتتیک می‌تواند بر فرآیندهای مرتبط با متابولیسم چربی از جمله کاهش تجمع چربی شکمی و بهبود برخی شاخص‌های مرتبط با عملکرد کبد، اثرگذار باشد (Bontempo و همکاران، ۲۰۱۸). این یافته‌ها نشان می‌دهد که اثر امولسیفایرها تنها به افزایش هضم چربی محدود نشده و می‌تواند از طریق بهبود بهره‌برداری انرژی خوراک، بر عملکرد رشد و کیفیت محصول نهایی نیز تأثیرگذار باشد. همچنین، مطالعات انجام‌شده با امولسیفایرهای بر پایه PEGR بیانگر آن است که افزایش بهره‌وری انرژی جیره می‌تواند به بهبود عملکرد رشد، افزایش وزن لاشه و کاهش تجمع چربی در کبد کمک کند. ولامل اکسترا® نیز با بهبود استفاده از انرژی خوراک، در این راستا مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۸).

۳-۷-کاهش چسبندگی مقعد و بهبود کیفیت بستر

هضم ناقص مواد مغذی، به‌ویژه چربی‌ها، موجب افزایش ترکیبات هضم‌نشده در روده و در نهایت افزایش رطوبت بستر می‌گردد. این موضوع علاوه بر کاهش کیفیت محیط پرورش، خطر بروز چسبندگی ناحیه مقعد، درماتیت کف پا و سایر مشکلات مرتبط با سلامت گله را افزایش می‌دهد. با افزایش قابلیت هضم چربی و کاهش دفع مواد هضم‌نشده، رطوبت فضولات کاهش یافته و کیفیت بستر بهبود می‌یابد. در نتیجه، احتمال بروز چسبندگی مقعد و سایر اختلالات ناشی از بستر مرطوب کاهش می‌یابد. امولسیفایرها از طریق افزایش بهره‌وری هضم و جذب چربی، می‌توانند به حفظ سلامت دستگاه گوارش، بهبود کیفیت بستر و کاهش بروز این مشکلات در جوجه‌های گوشتی کمک کنند. مطالعات انجام‌شده با ولامل اکسترا® نیز کاهش چسبندگی مقعد و بهبود وضعیت عمومی دستگاه گوارش را گزارش کرده‌اند (جدول ۲).

۴-۷- ماهیت انرژی‌زایی ولامل اکسترا®

تعیین میزان دقیق انرژی آزادشده در جیره از طریق استفاده از ولامل اکسترا®، تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد. سطح چربی جیره، نوع چربی مورد استفاده و سن پرنده از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده می‌باشند. به‌صورت نسبی، مقادیر آزادسازی انرژی ناشی از استفاده از ولامل اکسترا® در قالب جدول ارائه شده است. در این جدول محدوده انرژی متابولیسمی (ME) ولامل اکسترا® طبق داده‌های فنی محصول می‌تواند معادل ۲۱۰۰۰۰ تا ۲۲۰۰۰۰ کیلوکالری انرژی متابولیسمی به ازای هر کیلوگرم محصول در نظر گرفته شود (جدول ۳).

۸- انواع کاربرد ولامل اکسترا® در خوراک

ولامل اکسترا® در برنامه‌های تغذیه‌ای طیور به دو روش قابل استفاده است؛ در روش نخست، محصول به‌صورت مکمل بر روی جیره فعلی (On-top) و بدون ایجاد تغییر در سطح انرژی جیره به خوراک افزوده می‌شود. در روش دوم، با بهره‌گیری از قابلیت آزادسازی انرژی، امکان کاهش کنترل‌شده انرژی متابولیسمی جیره (ME Reduction) بدون افت عملکرد تولیدی فراهم می‌گردد.

در روش اول ولامل اکسترا® می‌تواند بدون نیاز به تغییر در فرمول خوراک مستقیماً به جیره افزوده شود. این روش موجب بهبود عملکرد رشد، افزایش قابلیت هضم چربی‌ها و بهبود ضریب تبدیل خوراک (FCR) می‌گردد، در حالی که فرمولاسیون اصلی خوراک بدون تغییر باقی می‌ماند. افزودن ولامل اکسترا® درجیره‌های بر پایه ذرت یا گندم، باعث بهبود چشمگیر عملکرد گله خواهد شد (شکل ۹).

در روش دوم با توجه به میزان چربی موجود در جیره، می‌توان تا حدود ۳٪ از انرژی متابولیسمی را کاهش داد، بدون آن‌که اثری منفی بر رشد یا راندمان خوراک ایجاد شود. ولامل اکسترا® با افزایش کارایی هضم چربی، انرژی از دست‌رفته را جبران کرده و در نتیجه هزینه خوراک کاهش می‌یابد، در حالی که عملکرد گله حفظ می‌شود. افزودن ولامل اکسترا® در جیره‌های بر پایه ذرت یا گندم، انرژی کاهش‌یافته از جیره را جبران می‌نماید (شکل ۱۰).

۹- نتیجه‌گیری

در شرایطی که هزینه نهاده‌های خوراکی و به‌ویژه منابع انرژی، یکی از چالش‌های اصلی صنعت است، افزایش کارایی استفاده از مواد مغذی موجود در جیره، اهمیت بیشتری نسبت به افزایش مقادیر مواد اولیه مصرفی پیدا کرده است. چربی‌ها اگرچه از متراکم‌ترین منابع انرژی در خوراک به‌شمار می‌روند، اما ارزش تغذیه‌ای واقعی آن‌ها تنها زمانی قابل دستیابی است که فرآیندهای هضم و جذب به‌صورت مؤثر انجام شوند. فناوری‌های مبتنی بر PEGR، مانند ولامل اکسترا®، با هدف ارتقای کارایی هضم و جذب چربی توسعه یافته‌اند و می‌توانند به‌عنوان ابزاری کاربردی در طراحی جیره‌های دقیق‌تر و اقتصادی‌تر مورد استفاده قرار گیرند. آینده صنعت خوراک نه در افزایش مصرف نهاده‌ها، بلکه در افزایش بازده استفاده از آن‌ها نهفته است. استفاده از امولسیفایرهای نسل جدید می‌تواند به‌عنوان یک راهکار تغذیه‌ای برای افزایش انعطاف‌پذیری فرمولاسیون، بهبود بهره‌وری انرژی خوراک و حفظ عملکرد تولیدی حیوان در شرایط چالش‌برانگیز مورد توجه قرار گیرد. این فناوری با افزایش دسترسی به انرژی موجود در چربی‌ها، می‌تواند بخشی از مسیر حرکت صنعت به سمت تولید اقتصادی‌تر و پایدارتر را هموار نماید.

۱۰- توضیحات تکمیلی

این مقاله با رویکرد علمی–کاربردی به بررسی نقش امولسیفایرها در بهینه‌سازی استفاده از انرژی خوراک پرداخته و بخش معرفی محصول بر اساس اطلاعات فنی شرکت تولیدکننده (Nukamel، هلند) و منابع علمی موجود تدوین شده است.

۱۱- منابع

1.de Jong M, Cools S, Croes E. The battle against climate change: How a nutritional emulsifier can play a vital role in fighting heat stress. Aquafeed: Advances in Processing & Formulation. 2026;18(1).

2.Michels D, Verkempinck SHE, Vermeulen K, Spaepen R, Burton E, Scholey D, Wealleans AL, Grauwet T. An innovative approach to emulsifier uses in broiler feed affects nutrient digestion and growth performance in young broilers. British Poultry Science. 2025;66(4):547–557.

3.Gholami M, Shirzadi H, Taherpour K, Rahmatnejad E, Shokri A, Khatibjoo A. Effect of emulsifier on growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology, faecal microbiology and blood biochemistry of broiler chickens fed low-energy diets. Veterinary Medicine and Science. 2024;10(2): e1437.

4.Nukamel B.V. (2024). Volamel Extra® Technical Documentation. Weert, The Netherlands.

5.Oketch EO, Wickramasuriya SS, Oh S, Choi JS, Heo JM. Physiology of lipid digestion and absorption in poultry: An updated review on the supplementation of exogenous emulsifiers in broiler diets. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2023;107(6):1429-1443.

6.Ahmadi-Sefat AA, Taherpour K, Ghasemi HA, Akbari Gharaei M, Shirzadi H, Rostami F. Effects of an emulsifier blend supplementation on growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology, and muscle fatty acid profile of broiler chickens fed with different levels of energy and protein. Poultry Science. 2022;101(11):102145.

7.Zulkifli I, Tan HS, Soleimani AF, Goh YM, Croes E, Partha SK, Tee AK. The effects of glyceryl polyethylene glycol ricinoleate on growth performance, fat digestibility, apparent metabolisable energy, serum lipid profile, meat fatty acid content, and caecal microflora in male broiler chickens. European Poultry Science. 2019; 83:274.

8.Bontempo V, Comi M, Jiang XR, Rebucci R, Caprarulo V, Giromini C, et al. Evaluation of a synthetic emulsifier product supplementation on broiler chicks. Animal Feed Science and Technology. 2018; 240:157-164.

9.Barange M, Bahri T, Beveridge MCM, Cochrane KL, Funge-Smith S, Poulain F. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2018.

10.Siyal FA, Babazadeh D, Wang C, Arain MA, Saeed M, Ayasan T, Zhang L, Wang T. Emulsifiers in the poultry industry. World's Poultry Science Journal. 2017;73(3):611–620.

11.Ravindran V, Tancharoenrat P, Zaefarian F, Ravindran G. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. Animal Feed Science and Technology. 2016; 213:1-21.

۱۲.جعفری‌خورشیدی، کاوه؛ نقوی، محمد؛ کیهانی، حسین. کتاب جامع تغذیه طیور. تهران: انتشارات کلک باران؛ ۱۳۹۳.

13.Tancharoenrat P, Ravindran V, Zaefarian F, Ravindran G. Influence of age on the apparent metabolisable energy and total tract apparent fat digestibility of different fat sources for broiler chickens. Animal Feed Science and Technology. 2013;186(3–4):186–192.

14.Roy A, Haldar S, Mondal S, Ghosh TK. Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens. Veterinary Medicine International. 2010; 2010:262604.