



مروری بر نقش اندازه ذرات و فرم فیزیکی خوراک در بهبود عملکرد و

سلامت دستگاه گوارش طیور

ترکیب مواد تشکیل دهنده خوراک، اندازه ذرات و بافت فیزیکی آن از جمله عوامل شناخته شده‌ای هستند که می‌توانند بر قابلیت هضم مواد مغذی، مصرف خوراک، سلامت دستگاه گوارش و عملکرد کلی تولیدی طیور اثرگذار باشند. از این‌رو، بهینه‌سازی بازده تولید طیور همواره مورد توجه متخصصان تغذیه و تولیدکنندگان خوراک قرار داشته است.

آسیاب کردن، که دومین فرآیند پرهزینه در تولید خوراک محسوب می‌شود، با هدف کنترل اندازه ذرات مواد اولیه انجام می‌شود. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که تغییرات در اندازه ذرات خوراک می‌تواند به‌طور معناداری بر عملکرد تولیدی پرندگان اثر بگذارد. تنظیم اندازه ذرات در محدوده توصیه‌شده، علاوه بر بهبود عملکرد طیور، موجب کاهش هزینه‌های ناشی از آسیاب بیش از حد نیز می‌شود.

استفاده از خوراک به شکل پلت، رویکردی پیشرفته در تغذیه طیور محسوب می‌شود که نسبت به خوراک آردی مزایای متعددی از جمله بهبود قابلیت هضم، افزایش خوش‌خوراکی و کاهش جداشدگی اجزای خوراک را به همراه دارد. در سیستم‌های مدرن پرورش طیور، استفاده از جیره‌های پلت به یک روش رایج تبدیل شده است. علاوه بر این، کیفیت پلت و دمای آماده‌سازی آن نیز نقش مهمی در بهبود عملکرد تولیدی پرندگان ایفا می‌کنند.

شکل فیزیکی خوراک و اندازه ذرات مواد اولیه، از طریق تأثیر بر توسعه سیستم گوارشی و میکروفلور روده، عملکرد کلی پرندگان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این مقاله مروری به بررسی پژوهش‌های منتشرشده پیرامون اثر شکل و



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

اندازه ذرات خوراک بر عملکرد تولیدی، سرعت عبور مواد از دستگاه گوارش، توسعه ساختاری روده، مصرف خوراک و قابلیت هضم مواد مغذی در طیور می‌پردازد.



صنعت پرورش طیور، به دلیل نقش محوری آن در تأمین امنیت غذایی در سطح جهانی، به یکی از مهم‌ترین بخش‌های کشاورزی و تولید پروتئین حیوانی تبدیل شده است (Mottet & Tempio, 2017). اگرچه این صنعت در دهه‌های اخیر رشد چشمگیری داشته، اما همچنان با چالش‌های متعددی نظیر افزایش هزینه‌های خوراک، کمبود مواد اولیه، و ناپایداری در عرضه و واردات نهاده‌های متعارف مواجه است.

تولید اقتصادی و کارآمد در این صنعت، ارتباط تنگاتنگی با تهیه خوراک با کیفیت بالا دارد؛ خوراکی که بتواند همزمان عملکرد تولیدی طیور را ارتقا داده و سلامت آن‌ها را حفظ کند. یکی از عوامل کلیدی در این زمینه، بهینه‌سازی اندازه ذرات خوراک است که نقش مهمی در بهبود مصرف خوراک، هضم مواد مغذی و توسعه دستگاه گوارش ایفا می‌کند.

در گذشته، تصور بر این بود که اندازه ذرات خوراک تأثیر قابل توجهی بر عملکرد تولیدی طیور ندارد. با این حال، یافته‌های جدید نشان داده‌اند که تغییر در اندازه ذرات مواد تشکیل‌دهنده خوراک می‌تواند به‌طور معناداری بر عملکرد رشد و بازده تولیدی پرندگان اثرگذار باشد (Xu و همکاران، ۲۰۱۵). افزون بر این، تحقیقات اخیر حاکی از آن است که اندازه ذرات خوراک تأثیر مستقیمی بر قابلیت هضم مواد مغذی دارد و می‌تواند نقش مهمی در بهبود کارایی تغذیه‌ای طیور ایفا کند (Mills و Kiarie، ۲۰۱۹).

به‌طور کلی، تغییر در اندازه ذرات خوراک می‌تواند بر مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکردی طیور، از جمله میزان مصرف خوراک، سرعت عبور مواد از دستگاه گوارش، ساختار و رشد روده، و ترکیب میکروبی دستگاه گوارش، اثرگذار باشد.



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

اندازه ذرات و شکل جیره غذایی، به ترتیب بر فیزیولوژی دستگاه گوارش و مصرف خوراک (FI) طیور تأثیر می‌گذارند (زعفریان، ۲۰۰۷؛ همکاران، ۲۰۱۶). به دلیل مدت زمان کوتاه ماندگاری خوراک در دستگاه گوارش طیور، برای دستیابی به حداکثر پتانسیل ژنتیکی، آنها نیازمند خوراکی با قابلیت هضم بالا هستند. اصلاح اندازه ذرات و آسیاب کردن، دومین فرآیند پرهزینه در طول تولید خوراک (روبیو و همکاران، ۲۰۲۰) به شمار می‌رود که در فرآوری خوراک انجام می‌شود. پس از آسیاب، آنزیم‌های گوارشی و مواد هضمی می‌توانند راحت‌تر با ترکیبات خوراک تعامل داشته باشند و در نتیجه هضم و عملکرد طیور بهبود می‌یابد (Xu و همکاران، ۲۰۱۶).

از مزایای کاهش اندازه ذرات می‌توان به افزایش کیفیت پلت، سهولت جابجایی و سهولت مخلوط کردن مواد اشاره کرد (Amerah و همکاران، ۲۰۰۷). با این حال، کاهش بیش از حد اندازه ذرات محدودیت‌هایی دارد، زیرا ذرات بسیار ریز ممکن است توسط طیور به سختی مصرف شوند. با توجه به اهمیت این موضوع، در سال‌های اخیر اندازه ذرات خوراک در جیره طیور به موضوعی علمی و قابل توجه تبدیل شده است (سالدانیا، ۲۰۱۵؛ همکاران، ۲۰۱۵؛ اجهو و همکاران، ۲۰۱۹).

اندازه بهینه ذرات می‌تواند مزایای تغذیه‌ای و اقتصادی را به حداکثر برساند. با این حال، توصیه‌های موجود گاهی متناقض هستند؛ زیرا نتایج آزمایش‌های مختلف تحت تأثیر عواملی همچون شکل فیزیکی خوراک، پیچیدگی جیره، نوع غلات، توزیع اندازه ذرات، کیفیت پلت، روش‌های آسیاب و سختی آندوسپرم قرار دارند (Amerah و همکاران، ۲۰۰۷).

وقتی پرندگان با ذرات بسیار ریز تغذیه می‌شوند، محتویات دستگاه گوارش آنها سریع‌تر وارد دوازدهه شده و زمان کمتری را در سنگدان که در معرض pH پایین و آنزیم‌های گوارشی قرار دارد، سپری می‌کنند. به همین علت، میزان مواد هضم‌نشده در روده نسبتاً بیشتر خواهد بود (Kheravii و همکاران، ۲۰۱۸). علاوه بر این، آسیاب کردن ریز ذرات، مصرف انرژی برق آسیاب را افزایش داده و ظرفیت تجهیزات آسیاب و قابلیت جریان مواد را کاهش



سروشی رشد



Feed Safety for Food Safety®

می‌دهد که منجر به افزایش مشکلات گرد و غبار می‌شود (Kiarie و Mills، ۲۰۱۹). برخلاف آسیاب ریز، ذرات درشت‌تر در جیره باعث بهبود استفاده از خوراک، افزایش راندمان تولید و سلامت دستگاه گوارش می‌شوند؛ این امر با افزایش فعالیت سنگدان و پیش‌معدة و تحریک آنزیم‌های گوارشی تحقق می‌یابد (Kheravii و همکاران، ۲۰۱۸).

از آنجایی که پتانسیل ژنتیکی پرندگان طیور بهبود یافته است، متخصصان تغذیه بر بهبود شکل خوراک‌ها برای دستیابی به حداکثر تولید تمرکز دارند. برای دستیابی به بیشترین بهره‌وری از خوراک، اشکال خوراک به گونه‌ای اصلاح می‌شوند که سیستم گوارشی را کارآمدتر کنند. بنابراین توصیه می‌شود به جای استفاده از جیره‌های مخلوط آردی ساده، از خوراک‌های پیشرفته به صورت پلت یا کرامبل استفاده شود (Rueda و همکاران، ۲۰۲۲). بر اساس مطالعات علمی، مشخص است که اندازه ذرات و فرم خوراک تأثیرات عمیقی بر عملکرد رشد طیور دارند.

تأثیر اندازه ذرات و شکل خوراک بر تولید طیور

هرچند یک جیره متعادل می‌تواند تمامی مواد مغذی ضروری را مطابق نیاز پرنده تأمین کند، اما برای دستیابی به حداکثر پتانسیل تولیدی پرندگان، درک تأثیر اندازه ذرات و شکل خوراک بر عملکرد رشد طیور امری ضروری است. بهبود ضریب تبدیل خوراک (FCR) در جیره‌های پلت‌شده مرغ گوشتی با افزایش اندازه ذرات ذرت گزارش شده است. واکنش پرندگان مسن‌تر به افزایش اندازه ذرات به مراتب بیشتر از پرندگان جوان‌تر است (Xu و همکاران، ۲۰۱۵). به عنوان مثال، استفاده از ذرت با اندازه ذرات درشت‌تر (۹۸۷ میکرومتر) در مقایسه با ذرت با اندازه ۹۰۸ میکرومتر، عملکرد بهتری در مرغ‌های گوشتی ایجاد کرده که احتمالاً به دلیل تحریک بیشتر فعالیت سیستم گوارشی است. همچنین، این ذرات درشت‌تر زمان بیشتری در دستگاه گوارش باقی می‌مانند و در نتیجه با کارایی بیشتری مورد استفاده قرار می‌گیرند.



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

تغذیه با ذرات درشت ذرت (۶ میلی‌متر) در مقایسه با ذرات ریزتر (۲ میلی‌متر)، عملکرد رشد مرغ‌های گوشتی را در بازه سنی ۲۵ تا ۴۲ روز بهبود بخشیده است؛ به‌طوری که شاخص بهره‌وری تولید اروپایی به‌ترتیب ۶۲۲ در مقابل ۵۵۳ گزارش شده است (Abadi و همکاران، ۲۰۱۹). از سوی دیگر، در پرندگان جوان‌تر، سیستم گوارشی هنوز توانایی کامل برای بهره‌برداری از خوراک‌های حاوی غلات درشت را ندارد. بنابراین، اندازه درشت‌تر ذرات ممکن است هیچ تأثیری نداشته باشد (Xu و همکاران، ۲۰۱۵). یا حتی تأثیر منفی داشته باشد (Jacobs و همکاران، ۲۰۱۰).

در مطالعه‌ای، جوجه‌های گوشتی که در ۱۶ روز اول زندگی با جیره‌ای بر پایه ذرت با میانگین هندسی ۸۶۹ میکرومتر تغذیه شدند، ضریب تبدیل خوراک بهتری نسبت به گروهی که با ذرت درشت‌تر (۲۸۹۷ میکرومتر) تغذیه شدند، نشان دادند (Kilburn و Edwards، ۲۰۰۱). همچنین، تغذیه جوجه‌های گوشتی با خوراک پلت‌شده حاوی ذرات ریز ذرت (۵۳۴ میکرومتر) در ۲۱ روز نخست، ضریب تبدیل خوراک بهتری نسبت به ذرات درشت‌تر (۱۰۷۱ میکرومتر) ایجاد کرد (Moradi و همکاران، ۲۰۲۱).

با این حال، Oppong-Sekyere و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای بر روی ذرت با اندازه‌های متفاوت برای جوجه‌های چهار هفته‌ای، ذرات را به سه دسته "ریز" (۷۱۳/۸۲ میکرومتر)، "درشت" (۱۴۶۲ میکرومتر) و "خیلی درشت" (۱۵۰۶/۸ میکرومتر) تقسیم کردند. بالاترین وزن بدن و افزایش وزن در پرندگانی مشاهده شد که با جیره حاوی ذرات ریز تغذیه شده بودند؛ در حالی که پرندگانی که ذرات بسیار درشت دریافت کردند، کاهش در بهره‌وری نشان دادند. محتمل‌ترین دلیل این کاهش، ناتوانی پرنده در هضم مؤثر ذرات بسیار درشت بود.

کاهش اندازه ذرات تا سطح بهینه می‌تواند عملکرد طیور را بهبود داده و از هزینه‌های آسیاب بیش از حد جلوگیری کند (Healy و همکاران، ۱۹۹۴؛ Oppong-Sekyere و همکاران، ۲۰۱۲). با این حال، مشاهدات نشان داده‌اند که تغذیه با مخلوطی از ذرات ریز و درشت ذرت می‌تواند عملکرد تولیدی بهتری در مرغ‌های گوشتی به همراه داشته



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

باشد (Reece و همکاران، ۱۹۸۶؛ Xu و همکاران، ۲۰۱۵). ریس و همکاران (۱۹۸۶) دریافتند که تغذیه جوجه‌های گوشتی در بازه سنی ۰ تا ۴۲ روز با جیره‌ای شامل ذرت ریز آسیاب‌شده (۶۷۹ میکرومتر)، درشت (۱۲۸۹ میکرومتر) یا ترکیبی از هر دو (۵۰٪ ذرت ریز و ۵۰٪ ذرت درشت) عملکرد بهتری نسبت به ذرت آسیاب شده با اندازه متوسط (۹۸۷ میکرومتر) داشته است. همچنین، افزودن ۵۰٪ ذرت درشت (۱۳۱۴ میکرومتر) به جیره غذایی جوجه‌های گوشتی ۲۱ تا ۴۲ روزه منجر به افزایش مصرف خوراک و افزایش وزن بدن شد ولی ضریب تبدیل غذایی (FCR) تحت تأثیر قرار نگرفت (Wang-Li و همکاران، ۲۰۲۰).

شکل فیزیکی خوراک می‌تواند تأثیر اندازه ذرات بر عملکرد پرندگان را تحت تأثیر قرار دهد یا پنهان سازد. پیشنهاد شده است که استفاده از جیره‌های پلت‌شده با مواد اولیه‌ای که به‌صورت درشت آسیاب شده‌اند، می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد تغذیه‌ای جایگزین در صنعت طیور، با هدف بهبود بازده تولید و کاهش مصرف انرژی مورد استفاده قرار گیرد (Zang و همکاران، ۲۰۰۹). پلت کردن جیره‌های حاوی ذرت و کنجاله سویا به‌همراه ۱۵ درصد دانه کامل بذر کتان، نتایج بسیار مؤثری در دستیابی به عملکرد رشد بهینه در جوجه‌های گوشتی داشته است. این یافته نشان می‌دهد که استفاده از دانه‌های کامل در جیره‌های پلت‌شده، یک گزینه تغذیه‌ای قابل قبول و کاربردی محسوب می‌شود (Slominski و Jia، ۲۰۱۰).

عملکرد تولیدی جوجه‌های گوشتی ارتباط مستقیمی با تأمین نیازهای تغذیه‌ای آن‌ها دارد؛ نیازهایی که بخشی از آن‌ها به میزان مصرف خوراک و ترکیب تغذیه‌ای جیره وابسته است. در این میان، شکل فیزیکی خوراک یکی از عوامل کلیدی در تعیین میزان مصرف خوراک به‌شمار می‌رود.

خوراک به‌صورت مش (پودری) دارای مزایایی نظیر رشد یکنواخت پرندگان، کاهش تلفات و صرفه‌جویی اقتصادی است. با این حال، آسیاب کامل اجزای خوراک باعث کاهش خوش‌خوراکی و به‌تبع آن، کاهش وزن نهایی بدن و



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

افزایش ضریب تبدیل غذایی (FCR) در مقایسه با خوراک کرامبل و پلت در جوجه‌های ۲۱ تا ۵۶ روزه می‌شود (Jahan et al., 2006).

مطالعات مختلف تأیید کرده‌اند که جیره‌های پلت‌شده در مقایسه با مش، سبب بهبود معنی‌دار ضریب تبدیل غذایی در جوجه‌های گوشتی می‌شوند (Jahan et al., 2006; Amerah et al., 2008; Gracia et al., 2016; Abadi et al., 2019). همچنین، جوجه‌هایی که در دوره پیش‌استارتر با خوراک کرامبل تغذیه شده‌اند، در ۱۰ روزگی ۳۵ درصد افزایش وزن بدن و ۳۰ درصد افزایش مصرف خوراک نسبت به گروه دریافت‌کننده خوراک مش داشته‌اند (Mahdavi et al., 2018).

کیفیت پلت می‌تواند تأثیر چشمگیری بر عملکرد تولیدی پرندگان داشته باشد. بررسی‌ها نشان داده‌اند که پلت‌هایی که در دمای ۸۲ درجه سانتی‌گراد تهیه شده‌اند، در مقایسه با پلت‌های تهیه‌شده در دمای ۷۲ یا ۹۲ درجه سانتی‌گراد، موجب بهبود ضریب تبدیل غذایی (FCR) در جوجه‌های گوشتی می‌شوند (Rueda et al., 2022). همچنین، در مطالعه‌ای دیگر مشاهده شد که با افزایش دمای کاندیشنر (conditioning) خوراک از ۶۵ به ۹۵ درجه سانتی‌گراد، FCR افزایش یافت، بدون آنکه میزان مصرف خوراک تحت تأثیر قرار گیرد (Selle et al., 2013). از سوی دیگر، فرآیند پلت‌سازی موجب افزایش انرژی قابل متابولیسم خوراک گردید (Zang et al., 2009).

Kilburn و Edwards (2001) اثر پلت کردن خوراک را بر قابلیت دسترسی فسفر فیتاتی در جوجه‌های گوشتی بررسی کرده و دریافتند که کاهش خاکستر استخوان احتمالاً به دلیل افت ابقا فسفر فیتاتی (PPR) بوده است. در مقابل، برخی مطالعات دیگر گزارش داده‌اند که پلت کردن جیره می‌تواند دسترسی به فسفر فیتاتی را بهبود بخشد (Bayley et al., 1968). یا تأثیر نسبتاً کمی بر PPR داشته باشد (Edwards et al., 1999). در مورد مرغ‌های تخم‌گذار، واکنش پرنده به تغییر اندازه ذرات خوراک، برخلاف جوجه‌های گوشتی، چندان چشمگیر نیست (Frikha et al., 2011; Ege et al., 2019). در عوض، شکل فیزیکی خوراک (پلت یا مش) می‌تواند بر عملکرد تولیدی آن‌ها



تأثیرگذار باشد (Wahlstrom et al., 1999; Kocer et al., 2016; Bozkurt et al., 2019). در مطالعات انجام شده توسط Safaa et al. (2009) و Herrera et al. (2017)، اجزای اصلی جیره از غربال‌هایی با اندازه‌های مختلف عبور داده شدند، اما تأثیری بر صفاتی نظیر تولید تخم‌مرغ، جرم و وزن تخم‌مرغ، مصرف خوراک، وزن بدن یا ضریب تبدیل غذایی مشاهده نشد. یکی از دلایل این موضوع می‌تواند انتخاب ترجیحی ذرات درشت‌تر توسط مرغ‌ها باشد؛ مسئله‌ای که ممکن است به عدم مصرف ذرات ریزتر حاوی اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌ها و مواد معدنی توسط پرند منجر شود (Ege et al., 2019).

بهبود عملکرد ناشی از استفاده از خوراک پلت را می‌توان به عواملی چون افزایش قابلیت هضم و جذب خوراک، کاهش جداسازی اجزای جیره و اتلاف آن، نابودی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و غیرفعال‌سازی ترکیبات ضدتغذیه‌ای نظیر مهارکننده‌های آنزیم تریپسین در طی فرآیند حرارتی پلت‌سازی نسبت داد (Feng et al., 2003). از این‌رو، صنعت نوین پرورش طیور، به‌منظور دستیابی به بالاترین بهره‌وری، به‌طور گسترده از جیره‌های پلت‌شده در برنامه‌های تغذیه‌ای خود بهره می‌برد.

تأثیر اندازه ذرات خوراک بر توسعه دستگاه گوارش طیور

اندازه ذرات خوراک می‌تواند بر رشد و عملکرد دستگاه گوارش (GIT) پرندگان تأثیرگذار باشد. استفاده از ذرات درشت در جیره می‌تواند عملکرد بخش‌هایی از دستگاه گوارش، نظیر سنگدان و روده باریک را بهبود بخشد، در حالی که تغذیه با خوراک دارای ذرات ریز ممکن است رشد پیش معده (proventriculus) را بیشتر تحریک کند.



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

Herrera و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که با افزایش اندازه غرابال‌های مورد استفاده برای آسیاب اجزای جیره (در اندازه‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ میلی‌متر)، وزن نسبی دستگاه گوارش، سنگدان و کبد به‌صورت خطی افزایش یافت. افزایش وزن سنگدان به‌دنبال افزایش اندازه ذرات ذرت، منطقی به‌نظر می‌رسد و نشان‌دهنده افزایش فعالیت مکانیکی آسیاب در سنگدان است. (Dahlke et al., 2003; Parsons et al., 2006)

در مطالعه‌ای دیگر، وزن پانکراس و سنگدان در مرغ‌های تخم‌گذار (در بازه سنی ۲۱ تا ۵۲ هفتگی) پس از مصرف غلات آسیاب‌شده با ذرات ریز (۴ میلی‌متر) نسبت به غلات درشت‌تر (۸ میلی‌متر)، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Ege et al., 2019). Liu و همکاران (۲۰۱۵) نیز رابطه‌ای مثبت میان وزن نسبی پانکراس و سنگدان گزارش کردند. علاوه بر این، افزودن ۵۰٪ ذرت درشت آسیاب‌شده به جیره، باعث افزایش وزن نسبی سنگدان و در عین حال کاهش وزن نسبی پیش‌معدة در روز ۴۹ شد. (Xu et al., 2015b) این ارتباط بین سنگدان و معده غده‌ای می‌تواند حاکی از آن باشد که فرآیندهای هضم مکانیکی و آنزیمی در جوجه‌ها، در پاسخ به ساختار فیزیکی خوراک، تکامل یافته‌اند (Svihus, 2011).

از سوی دیگر، خوراک با ذرات درشت مدت زمان بیشتری در دستگاه گوارش باقی می‌ماند، که این موضوع باعث افزایش زمان تماس خوراک با آنزیم‌های گوارشی شده و در نتیجه، هضم و جذب بهتری را به‌دنبال دارد (Carre, 2000). بنابراین، آسیاب درشت ذرت از طریق بهبود عملکرد و توسعه سنگدان، موجب افزایش بهره‌وری انرژی و مواد مغذی و بهبود عملکرد رشد در جوجه‌های گوشتی می‌شود (Naderinejad et al., 2016).

اگرچه فرآوری حرارتی خوراک می‌تواند ساختار آن را تغییر داده و اندازه ذرات را کاهش دهد، اما فرم فیزیکی خوراک که شامل ذرات درشت یا ریز آسیاب‌شده (توزیع اندازه ذرات) است، در کنار نوع غلات مورد استفاده، می‌تواند بر رشد و توسعه دستگاه گوارش (GIT) تأثیر بگذارد. بنابراین، تنها قطر ذرات خوراک عامل تعیین‌کننده نیست.



برای نمونه، در جیره کرامبل، افزودن درصد‌های مختلفی از ذرت درشت تأثیری بر وزن نسبی سنگدان نداشت، اما در جیره مش (پودری)، با افزایش میزان ذرت درشت، وزن سنگدان به‌طور خطی افزایش یافت (Xu et al., 2015c). همچنین، در بررسی اثر اندازه ذرات بر دستگاه گوارش، ذرت در مقایسه با کنجاله سویا تأثیر بیشتری بر افزایش اندازه سنگدان داشت (Pacheco et al., 2013)

این نکات بر اهمیت در نظر گرفتن همزمان نوع ماده خوراکی، فرم فیزیکی، و اندازه ذرات در طراحی جیره‌های طیور تأکید دارند، به‌ویژه زمانی که هدف بهینه‌سازی عملکرد گوارشی و رشد باشد.

بررسی‌ها نشان داده‌اند که دستکاری اندازه ذرات خوراک (در بازه‌هایی مانند ۴، ۲/۵، ۲، ۱/۶، ۱/۲۵، ۱، ۰/۶۳، ۰/۴۰ یا ۰/۱۵ میلی‌متر) تأثیر معنی‌داری بر وزن روده باریک مرغ‌های تخم‌گذار در سن ۲۳ هفتگی نداشته است (Rohe et al., 2014). همچنین، استفاده از ذرات با اندازه‌های ۴ و ۸ میلی‌متر نیز تأثیری بر طول نسبی روده باریک و سکوم در مرغ‌های تخم‌گذار در سن ۵۲ هفتگی نشان ندارد (Ege et al., 2019).

با این حال، Frikha و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که وزن دستگاه گوارش و طول ژژنوم در پولت‌هایی که خوراک درشت‌تر (۱۰ میلی‌متر) مصرف کرده بودند، نسبت به آن‌هایی که با خوراک ریزتر (۶ میلی‌متر) تغذیه شده بودند، افزایش یافته است (در بازه سنی ۱ تا ۴۵ روزگی). نکته جالب اینجاست که افزودن دانه کامل به جیره تأثیری بر طول روده باریک نداشت، اما وزن کلی دستگاه گوارش و طول سکوم در پرندگانی که با جیره حاوی دانه کامل سورگوم تغذیه شده بودند، افزایش یافت (Fernandes et al., 2013). این افزایش احتمالاً به دلیل رشد بیشتر مخاط روده در پاسخ به نیاز به هضم دانه‌های کامل بوده است.

در مقابل، نتایج متضادی نیز گزارش شده‌اند. به‌عنوان نمونه، جوجه‌های گوشتی که از ۷ تا ۲۹ روزگی با گندم کامل تغذیه شده بودند، وزن دوازدهه کمتری داشتند (Gabriel et al., 2003). همچنین، در مطالعه‌ای دیگر، طول



نسبی روده باریک در جوجه‌هایی که ذرت درشت آسیاب‌شده (غربال ۷ میلی‌متر) دریافت کردند، کمتر از جوجه‌هایی بود که ذرت ریز آسیاب‌شده (غربال ۱ میلی‌متر) مصرف کرده بودند (Amerah et al., 2008). مطالعه دیگری نیز نشان داد که وزن دستگاه گوارش و محتویات آن در جوجه‌هایی که با ذرات درشت (۱/۴۱۳ میلی‌متر برای سورگوم و ۲/۱۷۴ میلی‌متر برای گندم) تغذیه شده بودند، کمتر از گروهی بود که خوراک با ذرات ریزتر (۰/۶۲۸ میلی‌متر برای سورگوم و ۰/۶۸۱ میلی‌متر برای گندم) دریافت کرده بودند (Nir et al., 1995). این یافته‌های متناقض و ناهمخوان در مطالعات مختلف را می‌توان به تفاوت در اندازه نهایی ذرات خوراک و همچنین ترکیب اجزای تشکیل‌دهنده جیره‌ها نسبت داد.

در مطالعه‌ای که توسط Abdollahi و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد، جوجه‌هایی که با خوراک پلت‌شده تغذیه شده بودند، وزن *proventriculus* (پیش معده) و سنگدان کمتری نسبت به جوجه‌های تغذیه‌شده با خوراک مش داشتند. نویسندگان این کاهش را به فعالیت مکانیکی کمتر سنگدان و اندازه ذرات ریزتر حاصل از فرآیند پلت‌سازی نسبت دادند.

استفاده از خوراک پلت به‌منظور کاهش اندازه ذرات و توزیع یکنواخت خوراک ریز و درشت آسیاب‌شده در جیره‌های مبتنی بر گندم نیز توسط Engberg و همکاران (۲۰۰۲) گزارش شده است. در مطالعه آن‌ها مشخص شد که فرآیند پلت‌سازی باعث کاهش نسبت ذرات بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر از ۲۰۹ گرم در کیلوگرم به ۱۳۵ گرم در کیلوگرم در خوراک ریز آسیاب‌شده و از ۲۶۲ گرم در کیلوگرم به ۱۴۹ گرم در کیلوگرم در خوراک درشت آسیاب‌شده شد.

در مطالعات دیگر نیز مشاهده شده است که وزن پانکراس در جوجه‌های تغذیه‌شده با خوراک پلت در مقایسه با خوراک مش کاهش یافته است (Agah و Ravindran, 2013; Norollahi, 2008). در مطالعه Abadi و همکاران (۲۰۱۹)، جیره پلت موجب کاهش ۱۷/۸ درصدی وزن پانکراس، ۲۸ درصدی وزن سنگدان و افزایش ۱۰/۶ درصدی



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

وزن کبد شد. همچنین، Liu و همکاران (۲۰۱۵) به وجود رابطه منفی بین pH سنگدان و وزن نسبی آن اشاره کردند و بیان داشتند که افزایش وزن سنگدان با افزایش فعالیت مکانیکی آن مرتبط است. در واقع، کاهش نیاز به آسیاب مکانیکی در پرندگان تغذیه شده با خوراک پلت شده باعث کاهش تحریک فیزیکی سنگدان و در نتیجه، رشد ضعیف تر این اندام در مقایسه با پرندگان دریافت کننده خوراک مش می شود.

جالب آنکه، برخلاف نتایج مطالعات پیشین، Ege و همکاران (2019) در پژوهشی که با هدف بررسی تأثیر فرم فیزیکی خوراک بر ویژگی های دستگاه گوارش مرغ های تخم گذار پرورش یافته در قفس انجام دادند، گزارش کردند که وزن کبد و طول روده باریک در مرغ هایی که با خوراک کرامبل تغذیه شده بودند، بیشتر از گروه دریافت کننده خوراک مش بود. به گفته نویسندگان، خوراک کرامبل نیاز سنگدان به فعالیت آسیاب مکانیکی را کاهش می دهد و در نتیجه، عملکرد سنگدان و زمان عبور خوراک از دستگاه گوارش کاهش می یابد. بنابراین، مرغ های تخم گذار تغذیه شده با کرامبل ممکن است از طریق افزایش طول روده باریک و وزن کبد، اثرات عبور سریع تر خوراک بر جذب مواد مغذی و هضم را جبران کنند.

تأثیر اندازه ذرات خوراک بر pH پیش معده و آنزیم های گوارشی

محیط داخلی بخش های مختلف دستگاه گوارش پرندگان دارای سطوح مختلفی از pH است: چینه دان دارای اسیدیته ی نسبتاً پایین ($pH \approx 5.5$)، در حالی که سنگدان و پیش معده (proventriculus) اسیدی تر از آن هستند (pH ۲/۵ تا ۳/۵) از سوی دیگر، روده ها pH نسبتاً خنثی تا قلیایی ملایم (بین ۵/۰ تا ۷/۵) دارند.

در مطالعه ای بر روی مرغ های تخم گذار نژاد Lohmann LSL، مشخص شد که تغذیه ۲۴ هفته ای با خوراک دارای اندازه ذرات ۵ و ۸ میلی متر تأثیر معنی داری بر pH بخش های مختلف دستگاه گوارش نداشت (Kocer et al).



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

(al., 2016). به طور مشابه، در پژوهش دیگری، pH چینه‌دان، سنگدان، روده باریک و سکوم در مرغ‌های تخم‌گذار پس از ۲۱ روز تغذیه با خوراک دارای اندازه ذرات مختلف بدون تغییر معنی‌دار باقی ماند (Ruhnke et al., 2015). همچنین، در مطالعه‌ای دیگر، افزایش اندازه غربال از ۴ به ۸ میلی‌متر نیز تغییری در pH بخش‌های مختلف دستگاه گوارش ایجاد نکرد (Ege et al., 2019). به علاوه، در شرایطی که ذرت با اندازه ذراتی بین ۵۵۷ تا ۱۳۸۷ میکرومتر در جیره استفاده شد، pH سنگدان ثابت ماند (Jacobs et al., 2010). این نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً تفاوت‌های ناشی از اندازه ذرات خوراک، تأثیر چشمگیری بر pH بخش‌های مختلف دستگاه گوارش طیور ندارد. با این حال، pH اندام‌های گوارشی در پاسخ به برهم‌کنش بین اندازه ذرات و تیمار حرارتی خوراک واکنش‌های معناداری نشان داده است. به‌طوری‌که، در جیره‌های مش، اندازه ذرات تأثیری بر pH سنگدان نداشت؛ اما در جیره‌های پلت‌شده، آسیاب ریز (۲ میلی‌متر) نسبت به آسیاب متوسط (۵ میلی‌متر) و درشت (۸ میلی‌متر) موجب افزایش pH سنگدان شد (pH به ترتیب: ۳/۴۳ در برابر ۲/۹۲ و ۲/۹۰) (Naderinejad et al., 2016). در مقابل، استفاده از خوراک expandate با ذرات ریز موجب کاهش pH در بخش‌های انتهایی دستگاه گوارش (از جمله ایلئوم و محتویات دفعی) شد (Ruhnke et al., 2015). محققان این اثر را به کاهش تحریک مکانیکی سنگدان نسبت دادند که باعث شده ذرات درشت‌تری به بخش‌های انتهایی دستگاه گوارش برسند. فرآیند کرامبل کردن خوراک موجب افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز پانکراس شد، در حالی که تغییرات در شکل فیزیکی خوراک و اندازه غربال (۴ یا ۸ میلی‌متر) تأثیری بر ترشح آنزیم لیپاز نداشت (Ege et al., 2019). به‌طور مشابه، در مقایسه با خوراک مش، فعالیت آنزیم‌های پروتئاز و آمیلاز پانکراس در جوجه‌های گوشتی که طی ۱۰ روز اول با خوراک پیش‌استارتر کرامبل تغذیه شدند، به‌طور معناداری افزایش یافت، در حالی که فعالیت لیپاز تحت تأثیر قرار نگرفت (Mahdavi et al., 2018).



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

فعالیت بیشتر آمیلاز و هضم مؤثرتر نشاسته در جیره‌های کرامبل‌شده قابل انتظار است، چراکه ژلاتینه شدن نشاسته در حین فرآیند پلت‌سازی رخ می‌دهد و تماس با بخار در مرحله کندیشنینگ، دسترسی آنزیم‌ها به نشاسته را افزایش می‌دهد (Svihus et al., 2005; Abdollahi et al., 2013b).

در مطالعه‌ای دیگر، اندازه درشت دانه‌های ذرت (۳۵۷۶ میکرومتر در برابر ۱۱۱۳ میکرومتر) در جیره پلت‌شده موجب افزایش بیان ژن آمینوپپتیداز N در دوازدهه جوجه‌های گوشتی شد (Kheravii et al., 2018b). افزون بر آن، همین مطالعه نشان داد که افزودن فیبر خام (۲ درصد باگاس نیشکر) به همراه ذرت درشت آسیاب‌شده منجر به افزایش بیان ژن‌های پپسینوژن A و C، آمیلاز پانکراس و ناقل کاتیونی اسیدهای آمینه روده‌ای (CAT1) شد. این نتایج حاکی از آن است که افزایش حرکات دستگاه گوارش و زمان ماندگاری خوراک که از ذرات درشت خوراک به‌ویژه در نواحی فوقانی دستگاه گوارش ناشی می‌شود، می‌تواند تولید آنزیم‌های گوارشی و ناقل‌های مواد مغذی را افزایش دهد و بدین ترتیب هضم مواد غذایی را بهبود بخشیده و عملکرد رشد پرنده را ارتقاء دهد.

تأثیر بر هیستومورفولوژی روده

افزایش اندازه ذرات مواد خوراکی و همچنین تغذیه با خوراک پلت‌شده نسبت به خوراک مش موجب افزایش ارتفاع پرزهای دوازدهه و عمق کریپت‌ها شد، که نشان‌دهنده‌ی تأثیر اندازه ذرات و شکل فیزیکی خوراک بر ساختارهای میکروسکوپی روده کوچک است (Dahlke et al., 2003).

تغذیه با خوراک حاوی ذرت و گندم درشت آسیاب‌شده به‌طور معناداری موجب افزایش ارتفاع یا تعداد پرزهای روده‌ای شد (Rohe et al., 2014). همچنین، در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از ذرت آسیاب‌شده درشت (۸ میلی‌متر) نسبت به ذرت ریز (۲ میلی‌متر) در جیره پلت‌شده طی ۲۰ روز ابتدایی دوره پرورش، منجر به افزایش ارتفاع پرز (VH) و عمق کریپت (CD) دوازدهه بدون تغییر در این شاخص‌ها در ژژنوم شد (Moradi et al., 2021).



بیشترین ارتفاع پرز دوازدهم در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره ذرت-سویا حاوی فیبر غذایی (۴ درصد پوست سویا با اندازه ذره درشت ۶۰۰ میکرومتر) مشاهده شد، در حالی که کمترین ارتفاع پرز ژژنوم مربوط به پرندگانی بود که ۸ درصد سلولز به صورت ذرات ریز (۱۰۰ میکرومتر) دریافت کرده بودند (Tejeda and Kim, 2021).

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که افزایش ارتفاع پرزها منجر به افزایش سطح جذب مواد مغذی در روده می‌شود. در مقابل، خوراک با ذرات بسیار ریز می‌تواند مورفولوژی روده را به‌طور قابل توجهی تغییر دهد، که ممکن است عملکرد و ترشح آنزیم‌های گوارشی را تحت تأثیر قرار داده و در نهایت قابلیت هضم خوراک را کاهش دهد (Zang et al., 2009).

با این حال، در مقابل یافته‌های پیشین، در مطالعه‌ای توسط Zang و همکاران (2009)، تفاوت معناداری در عمق کریپت (CD)، ارتفاع پرز (VH) و نسبت VH/CD در ایلئوم، ژژنوم یا دوازدهم بین گروه‌های تغذیه‌شده با خوراک درشت و ریز مشاهده نشد. به‌طور مشابه، در مرغ‌های تخم‌گذار نیز شاخص‌های مربوط به پرزهای روده‌ای شامل ارتفاع پرز (VH)، نسبت VH/CD و سطح سطحی پرز تحت تأثیر اندازه ذرات خوراک قرار نگرفتند (Ege et al., 2019). جدول ۱ تأثیر اندازه ذرات خوراک بر دستگاه گوارش طیور را به‌صورت خلاصه نشان می‌دهد.

در مطالعه‌ای، مشخص شد که عمق کریپت (CD) و ارتفاع پرزهای روده‌ای (VH) در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با خوراک پیش‌استارتر کرامبل طی ۱۰ روز نخست زندگی، به‌طور معناداری بیشتر از گروهی بود که خوراک مش دریافت کرده بودند. با این حال، عرض پرز (VW)، سطح سطحی پرز (VSA)، و نسبت VH/CD تحت تأثیر نوع خوراک (کرامبل یا مش) قرار نگرفتند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تغذیه با خوراک کرامبل در روزهای ابتدایی زندگی، بهبود ساختار میکروسکوپی روده را به همراه دارد (Mahdavi et al., 2018).



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

Abadi و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر مواد پلت چسپان، اندازه ذرات، و شکل فیزیکی خوراک را بر شاخص‌های رشد، مورفولوژی روده و پارامترهای دستگاه گوارش در جوجه‌های گوشتی ۲۵ تا ۴۲ روزه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که جوجه‌هایی که با خوراک پلت تغذیه شدند، در بخش‌های ژژنوم و دوازدهه دارای نسبت ارتفاع پرز به عمق کریپت (VH/CD) بیشتری نسبت به پرندگان بودند که خوراک مش دریافت کرده بودند.

تأثیر شکل خوراک بر شاخص‌های مورفولوژیکی روده در جیره‌های مبتنی بر ذرت نیز توسط Zang و همکاران (۲۰۰۹) و Naderinejad و همکاران (۲۰۱۶) مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعات نشان دادند که جیره‌های پلت موجب افزایش ارتفاع پرز (VH) و نسبت VH/CD در جوجه‌های گوشتی می‌شوند.

افزایش نسبت VH/CD در این مطالعات با بهبود قابلیت هضم مواد مغذی و عملکرد رشد همراه بوده است (Zang et al., 2009). این تغییرات را می‌توان به عنوان پاسخی عمومی از سوی ظرفیت جذب و گوارش دستگاه گوارش به افزایش بار مؤثر مواد مغذی در خوراک پلت‌شده تلقی کرد. به‌طور کلی، افزایش طول پرزهای روده‌ای منجر به افزایش سطح سطحی پرزها (VSA)، ترشح بیشتر آنزیم‌های گوارشی، و در نتیجه عملکرد بهتر در هضم و جذب مواد مغذی می‌شود. جدول ۲ تأثیر شکل فیزیکی خوراک بر دستگاه گوارش طیور را نشان می‌دهد.

جدول ۱: تأثیر اندازه ذرات خوراک بر دستگاه گوارش طیور (GIT)

نوع پرنده	نوع دانه	اندازه ذرات	نتایج	مرجع
جوجه گوشتی	گندم	۰/۸۳۹-۱/۱۶۴ میلی متر	افزایش وزن اجزای روده	عامره و همکاران (۲۰۰۷)
مرغ تخمگذار	ذرت و گندم	۱/۸ میلی متر	آسیاب درشت دانه ها، سنگدان و وزن پانکراس را افزایش داد.	(ایچو همکاران ۲۰۱۹)
جوجه گوشتی	ذرت و برنج	۰/۲۹ تا ۱/۳۶ میلی متر	طول روده تحت تأثیر قرار نمی گیرد	خوو همکاران ۲۰۱۵ (الف)

تیلورو همکاران (۲۰۱۲)	افزایش جرم نسبی سنگدان و ویسکوزیته محتویات گوارشی، و کاهش جرم نسبی پیش معده	دانه کامل	گندم و جو	جوجه گوشتی
بندتی و همکاران (۲۰۱۱)	ذرت ریز آسیاب شده موجب کاهش وزن سنگدان و پیش معده شد.	۰/۷۳ و ۰/۴۶ و ۰/۸۷ میلی متر	ذرت	جوجه گوشتی
آرسه-منوکال و همکاران (۲۰۲۰)	افزایش اندازه ذرات خوراک، موجب افزایش وزن سنگدان شد.	۰/۵۷ و ۰/۴۶ و ۰/۷۴ و ۱/۱۷ میلی متر	ذرت و گندم	جوجه گوشتی
سل و همکاران (۲۰۱۹)	اندازه ذرات ریز خوراک موجب کاهش وزن سنگدان شد.	۰/۷۹ و ۱/۴۰ میلی متر	ذرت	جوجه گوشتی
نادری نژاد و همکاران (۲۰۱۶)	آسیاب درشت خوراک موجب افزایش وزن سنگدان، ارتفاع پرزهای روده ای و مصرف خوراک شد؛ در حالی که آسیاب ریز موجب افزایش pH سنگدان گردید.	۲ و ۵ و ۸ میلی متر	ذرت	جوجه گوشتی
روهو و همکاران (۲۰۱۴)	تغذیه با خوراک درشت آسیاب شده منجر به افزایش وزن پیش معده، سنگدان و پانکراس و همچنین افزایش ارتفاع پرزهای روده ای شد.	۱، ۱/۲۵، ۱/۶، ۲، ۲/۵، ۴، ۰/۱۵، ۰/۴، ۰/۶۳ میلی متر	ذرت و گندم	مرغ تخمگذار
کوسر و همکاران (۲۰۱۶)	اندازه ذرات خوراک تأثیری بر درصد تخم های شکسته، وزن تخم مرغ، نرخ ترک خوردگی و نرخ تولید تخم مرغ نداشت.	۵ و ۸ میلی متر	ذرت	مرغ تخمگذار
کیاری و میلز (۲۰۱۹)	افزایش وزن سنگدان	۰/۵۹-۰/۹۵ میلی متر	ذرت و گندم	جوجه گوشتی
رضایی پور و غزه (۲۰۱۴)	وزن روده باریک و سنگدان تحت تأثیر قرار نگرفت.	۰/۶۵-۱/۳ میلی متر	ذرت	جوجه گوشتی
هرا و همکاران (۲۰۱۷)	افزایش اندازه توری آسیاب به صورت خطی موجب افزایش وزن نسبی سنگدان، کبد و دستگاه گوارش شد.	۱۲ و ۱۰، ۸، ۴، ۶ میلی متر	ذرت و جو	مرغ تخمگذار

جدول ۲: تأثیر شکل خوراک بر دستگاه گوارش طیور

مرجع	اثر	فرم خوراک	نوع دانه	نوع پرنده
عبداللهی و همکاران (۲۰۱۴)	جوجه‌هایی که با خوراک پلت تغذیه شدند، به‌طور معناداری وزن پیش‌معدده و سنگدان کمتری نسبت به جوجه‌های تغذیه‌شده با خوراک مش داشتند.	مش، پلت	سورگوم	جوجه‌گوشتی
انگبرگ و همکاران (۲۰۰۲)	جوجه‌هایی که با خوراک پلت تغذیه شدند، در مقایسه با جوجه‌های تغذیه‌شده با خوراک مش، به‌طور معناداری دارای pH پایین‌تر در روده، pH بالاتر در سنگدان بودند.	مش، پلت	ذرت	جوجه‌گوشتی
آگاه و نوراللهی (۲۰۰۸)	جوجه‌های تغذیه‌شده با خوراک پلت به‌طور معناداری کاهش وزن پانکراس و سنگدان را نشان دادند.	مش، پلت خردمی شود	ذرت و گندم	جوجه‌گوشتی
عبداللهی و همکاران ۲۰۱۳ (الف)	خوراک پلت به‌طور معناداری موجب کاهش وزن سنگدان و پانکراس و همچنین کاهش طول روده شد.	مش، پلت	ذرت	جوجه‌گوشتی
آبادی و همکاران (۲۰۱۹)	جیره‌های پلت‌شده موجب کاهش ۲۸ درصدی وزن سنگدان و ۱۷/۸ درصدی وزن پانکراس و همچنین افزایش ۱۰/۶ درصدی وزن کبد شدند.	مش، پلت	ذرت	جوجه‌گوشتی
نادری‌نژاد و همکاران (۲۰۱۶)	جوجه‌های تغذیه‌شده با خوراک پلت، به‌طور معناداری کاهش وزن پانکراس و سنگدان را نشان دادند.	مش، پلت	ذرت	جوجه‌گوشتی
ایچ و همکاران (۲۰۱۹)	طول روده باریک و وزن کبد در مرغ‌های تخم‌گذار تغذیه‌شده با خوراک کرامبل بیشتر از مرغ‌های تغذیه‌شده با خوراک مش بود.	مش، کرامبل	ذرت	مرغ تخمگذار

تأثیر اندازه ذرات خوراک بر میکروفلور روده‌ای

مطالعات متعددی به بررسی اثرات اندازه ذرات خوراک بر میکروفلور دستگاه گوارش پرداخته‌اند. عملکرد مؤثر سنگدان می‌تواند از طریق هضم کارآمدتر و افزایش مدت زمان ماندگاری مواد غذایی در دستگاه گوارش، محیط روده را بهبود ببخشد (Zaefarian et al., 2016). در مقابل، وجود ذرات ریزتر در جیره موجب عبور سریع‌تر مواد



خوراکی به دوازدهه شده و مدت زمان کمتری در سنگدان سپری می‌شود؛ بنابراین، مقدار بیشتری از مواد غذایی هضم‌نشده وارد روده باریک شده که این امر می‌تواند منجر به افزایش حضور باکتری‌های بیماری‌زا مانند *E. coli* و *Clostridium perfringens* شود (Kheravii et al., 2018a).

افزایش اسیدیته در دستگاه گوارش، احتمال سرکوب باکتری‌های مضر را بالا می‌برد. در همین زمینه، در سال ۲۰۰۶ Huang تأثیر ویژگی‌های فیزیکی خوراک بر کلونیزاسیون *سالمونلا* در دستگاه گوارش جوجه‌های گوشتی را با استفاده از مدل *S. enterica serovar Typhimurium* DT12 بررسی کردند.

Prescott و همکاران (2016) به رابطه‌ی میان اکولوژی دستگاه گوارش (GIT) و رشد بیماری انتريت نکروتیک (NE) اشاره کردند؛ بیماری‌ای که توسط باکتری *Clostridium perfringens* ایجاد می‌شود و یکی از شدیدترین بیماری‌ها در جوجه‌های گوشتی سراسر جهان است. آنها گزارش دادند که در طول این بیماری، ضایعات نکروتیکی مشخصی در ناحیه میانی دستگاه گوارش ایجاد می‌شود که عملکرد هضم و جذب مواد مغذی را مختل می‌کند. از این رو، برای کنترل بیماری انتريت نکروتیت، جلوگیری از تکثیر هر دو عامل بیماری‌زا یعنی *Eimeria* و *C. Perfringens* در دستگاه گوارش ضروری است (ویلیامز، ۲۰۰۵). علاوه بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی روده، اندازه ذرات خوراک نیز بر وضعیت میکروبی روده تأثیرگذار است؛ به گونه‌ای که ذرات ریز خوراک، رشد سریع‌تری از *C. Perfringens* را نسبت به ذرات درشت تحریک می‌کنند (انگبرگ و همکاران، ۲۰۰۲). این پدیده قابل توجه است، زیرا مقادیر زیادی از پروتئین‌های هضم‌نشده در سکوم (ceca) به ترکیبات سمی مانند ایندول‌ها، آمونیاک، آمین‌ها، تیول‌ها و فنول‌ها تبدیل می‌شوند. مهم‌تر از همه، این مواد باعث افزایش pH سکوم می‌شوند که شرایط را برای تکثیر باکتری‌های بیماری‌زا مانند گونه‌های *Clostridium* فراهم می‌کند (Timbermont و همکاران، ۲۰۱۱). در نتیجه، سنگدان به خوبی توسعه یافته که ناشی از اندازه ذرات درشت دانه است، هضم پروتئین و آمینو اسیدها را افزایش می‌دهد و بدین ترتیب باعث کاهش جمعیت پاتوژن‌ها در بخش‌های پایین‌تر دستگاه گوارش



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

می‌شود. خوراک دانه‌ای که به صورت درشت یا کامل آسیاب شده باشد، فعالیت سنگدان را تحریک کرده و زمان ماندگاری مواد هضم‌شده را افزایش می‌دهد، که به نوبه خود تخمیر را بهبود می‌بخشد؛ چرا که باکتری‌های *Coliform Lactobacilli*، *Streptococci* در قسمت چینه دان (crop) افزایش می‌یابند (Goodarzi و همکاران، ۲۰۱۶).

در مطالعه‌ای که توسط Yan و همکاران (۲۰۲۲) انجام شد و اثر استفاده از برنامه مخلوطی اندازه ذرات در خوراک‌های آغازین، رشد و پایانی جوجه‌های گوشتی طی ۳۷ روز را بررسی کرد، میزان باکتری *Lactobacillus* افزایش یافت. همچنین، با تغذیه جوجه‌ها با ذرت آسیاب شده ریز بین روزهای ۱ تا ۱۳ و ذرت آسیاب شده درشت بین روزهای ۱۴ تا ۲۳ و ۲۴ تا ۳۷، باکتری‌های *Peptostreptococcus* و *Acinetobacter* در ایلئوم کاهش یافتند. با این حال، آسیاب کردن ذرت به صورت درشت (۸ میلی‌متر) یا ریز (۲ میلی‌متر) در خوراک پلت شده، جمعیت میکروبی سکوم (شامل *E. coli*، *Lactobacillus* و کل باکتری‌های بی‌هوازی) جوجه‌های Ross در روز ۲۱ را تغییر نداد. اما افزودن فیبر غذایی (پوسته جو، برنج یا آفتابگردان) به ذرت آسیاب شده ریز باعث افزایش معنادار تعداد *Lactobacillus spp.* و کل باکتری‌های بی‌هوازی در سکوم شد، در حالی که این تأثیر در ذرت آسیاب شده درشت مشاهده نشد (Moradi و همکاران، ۲۰۲۱).

با این حال، Abadi و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که استفاده از ذرات درشت (۶ میلی‌متر) در خوراک، جمعیت بیشتری از باکتری‌های لاکتیک اسید و اسپورساز در سکوم جوجه‌های گوشتی در سن ۴۲ روزگی در مقایسه با ذرات ریز (۲ میلی‌متر) ایجاد کرد، همچنین، خوراک حاوی دانه‌های درشت آسیاب‌شده منجر به افزایش باکتری‌های مفید سکومی مانند *Lactobacillus* و کاهش باکتری‌های بیماری‌زا مانند *Clostridium*، *E. coli* و *Salmonella* می‌شود (Xu، ۲۰۱۴؛ Di Cerbo و همکاران، ۲۰۱۴).



سروشی رشد



Feed Safety for Food Safety®

در مطالعه دیگری، شکل فیزیکی خوراک تأثیری بر جمعیت میکروفلور سکومی (شامل باکتری‌های اسید لاکتیک، *Coliform* و *Clostridium* در جوجه‌های گوشتی در روز ۴۲ نداشت؛ با این حال، جمعیت باکتری‌های اسپورساز به‌طور معناداری در جوجه‌هایی که خوراک پلت دریافت کرده بودند، بیشتر بود و کمترین شمار *Clostridium spp.* در جوجه‌هایی مشاهده شد که خوراک پلت حاوی ذرات درشت به همراه ۳ درصد پلت چسپان مصرف کرده بودند (Abadi و همکاران، ۲۰۱۹).

مکانیسم افزایش رشد باکتری‌های مفید در واکنش به تغییرات اندازه ذرات خوراک هنوز نیاز به بررسی بیشتری دارد. با این حال، می‌توان انتظار داشت که افزایش این باکتری‌ها در روده و روده‌ی انتهایی طیور به رشد و توسعه مطلوب‌تر این جمعیت‌های میکروبی کمک کند. حضور فراوان باکتری‌های مفید می‌تواند باعث تولید ترکیبات تقویت‌کننده سلامت مانند فلاونوئیدها شود که به بهبود سلامت پرندگان کمک کرده، از بافت‌های روده محافظت نموده و موجب ارتقای سیستم ایمنی ذاتی و اکتسابی می‌شوند (Sulek و همکاران، ۲۰۱۴؛ Calixto و همکاران، ۲۰۰۴). علاوه بر این، فعالیت آنزیم‌های گوارشی مانند تریپسین، پروتئازها و لیپازها می‌تواند با افزایش رشد باکتری‌های مفید نظیر *Lactobacillus* و *Bifidobacterium* بهبود یابد (Clavijo and Florez, 2018). از این رو، استفاده از غلات درشت در جیره غذایی طیور می‌تواند به ارتقاء سلامت روده‌ای کمک کند؛ این موضوع به‌ویژه در شرایطی که از آنتی‌بیوتیک‌ها در خوراک طیور استفاده نمی‌شود، اهمیت بیشتری می‌یابد (Palmieri et al., 2014; Gallo et al., 2017; Di Cerbo et al., 2020).

تأثیر بر سرعت عبور مواد گوارشی

زمان ماندگاری مواد در دستگاه گوارش (Retention time) نقش مهمی در هضم مؤثر مواد مغذی دارد. افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی در سنگدان، فرصت بیشتری را برای ترشح پپسین و اسید هیدروکلریک (HCl) فراهم



کرده و زمان تماس خوراک با آنزیم‌های خارجی را افزایش می‌دهد، که در نهایت موجب بهبود بازده گوارش می‌شود (Svihus, 2011). همچنین این فرایند باعث افزایش بازگشت محتویات به معده و تماس مجدد آن‌ها با آنزیم پپسین می‌گردد (González-Alvarado et al., 2008; Svihus, 2011) که هضم را تقویت می‌کند.

خوراک دارای ذرات درشت‌تر، از آنجا که زمان عبور از سنگدان را افزایش می‌دهد، باعث تحریک مکانیکی بیشتر و افزایش مدت‌زمان در معرض بودن مواد مغذی با آنزیم‌های گوارشی می‌شود (Zaefarian et al., 2016). در مقایسه با گندم کامل، زمان عبور مواد در روده کوچک در جیره‌های حاوی گندم آسیاب‌شده بیشتر است (et al., 2002) (Svihus., 2002) همچنین، Xu و همکاران (2015a) ساختار هیستومورفولوژیک بهبود یافته ژژنوم را ناشی از استفاده از ذرات درشت ذرت دانسته‌اند که با افزایش زمان ماندگاری، امکان تماس طولانی‌تری بین مواد مغذی و پرزهای روده‌ای را فراهم کرده و در نهایت ظرفیت جذب را افزایش می‌دهد.

با این حال، خوراک‌های با ذرات ریزتر در برخی موارد، آهسته‌تر از خوراک‌های با ذرات درشت‌تر در دستگاه گوارش حرکت می‌کنند. به‌طور مثال، Moradi و همکاران (2021) گزارش کردند که افزایش اندازه ذرات ذرت از ۲ میلی‌متر به ۸ میلی‌متر در جیره جوجه‌های گوشتی طی ۲۱ روز اول پرورش، تفاوت معناداری در زمان عبور مواد گوارشی ایجاد نکرد و زمان عبور در همه گروه‌ها حدود ۱۶۲ دقیقه بود.

به‌طور مشابه، Naderinejad و همکاران (2016) نیز تفاوتی در زمان عبور مواد گوارشی مشاهده نکردند؛ به‌طوری‌که در جیره‌های آردی (mash) با ذرات ریز (۲ میلی‌متر)، متوسط (۵ میلی‌متر) و درشت (۸ میلی‌متر)، زمان عبور به ترتیب ۱۶۲، ۱۶۱ و ۱۶۱ دقیقه بود. در خوراک‌های پلت‌شده نیز، با اندازه ذرات ریز، متوسط و درشت، زمان عبور به ترتیب ۱۵۳، ۱۵۴ و ۱۶۳ دقیقه ثبت شد که تفاوت آماری معنی‌داری نداشت.



با این حال، برای مرغ‌های تخم‌گذار، تاکنون مطالعه‌ای در خصوص تأثیر اندازه ذرات خوراک بر زمان عبور مواد گوارشی گزارش نشده است. این موضوع همچنان نیازمند پژوهش‌های بیشتر است تا تفاوت‌های احتمالی بین طیور گوشتی و تخم‌گذار از این منظر شناسایی گردد.

تأثیر اندازه ذرات خوراک بر ابقای مواد معدنی در طیور

Kilburn و Edwards (2001) در مطالعه‌ای، ارتباط بین اندازه ذرات ذرت و ابقای مواد معدنی را در جوجه‌های گوشتی بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغذیه با ذرت درشت‌دانه با میانگین قطر هندسی ذرات یا GMD برابر با ۲۸۹۷ میکرومتر (موجب افزایش خاکستر استخوان، کلسیم و فسفر فیتاته در استخوان‌های تیپیا (درشتی) جوجه‌ها شد. از سوی دیگر، میزان دیسکندروپلازی تیپیا (TD) که نوعی اختلال رشد در استخوان است، در پرندگانی که با ذرت ریزتر تغذیه شدند، کمتر بود. در جیره‌هایی که فاقد فسفر کافی بودند، استفاده از ذرت درشت باعث افزایش میزان خاکستر استخوان شد، که نشان‌دهنده تأثیر متقابل بین اندازه ذرات ذرت و غلظت فسفر جیره است. با این حال، زمانی که هر دو جیره (ذرت ریز و درشت) دارای فسفر کافی بودند، تفاوتی در میزان خاکستر استخوان مشاهده نشد.

نکته جالب دیگر، تأثیر شکل فیزیکی خوراک (پلت یا مش) بر ابقای مواد معدنی بود. هنگامی که ذرت درشت در قالب خوراک پلت‌شده ارائه شد، میزان ابقای کلسیم کاهش یافت. به‌علاوه، سطح فسفر قابل انتشار در پلاسمای جوجه‌ها در جیره مش مبتنی بر ذرت درشت افزایش یافت، اما این افزایش در صورت پلت شدن خوراک حذف شد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که هم اندازه ذرات و هم شکل فرآوری خوراک (پلت یا مش)، می‌توانند به‌طور چشم‌گیری بر متابولیسم و ابقای مواد معدنی مانند کلسیم و فسفر تأثیر بگذارند.



طبق گزارش Parsons و همکاران (2006)، افزودن ذرت درشت‌دانه به جیره غذایی باعث بهبود راندمان ابقا نیتروژن و لیزین در جوجه‌های گوشتی شد. همچنین، Xu و همکاران (2015a) نشان دادند که استفاده از ذرت با اندازه ذره درشت (۶۳۰ میکرومتر در مرحله رشد و ۶۵۱ میکرومتر در مرحله پایانی) در جیره جوجه‌ها طی دوره ۰ تا ۴۹ روزگی، منجر به افزایش هضم پروتیین، جذب اسیدهای آمینه و تقویت حرکات معکوس روده‌ای (ریورس پریستالسیس) و همچنین بهبود ساختار مورفولوژیکی دستگاه گوارش گردید.

در مورد طیور تخم‌گذار، برخی از عناصر معدنی کمیاب موجود در تخم‌مرغ تحت تأثیر ترکیب اندازه ذرات و نوع فرآوری حرارتی خوراک، به‌صورت متفاوتی در بدن پرنده ابقا شدند. بر اساس نتایج Hafeez و همکاران (2015)، ابقا آهن و روی در محتوای تخم‌مرغ زمانی بهبود یافت که ذرات درشت خوراک با اشکال خوراک مش و اکسپندیت (خوراک فرآوری‌شده با حرارت بالا) ترکیب شده بودند، در مقایسه با شرایطی که ذرات ریز در همین اشکال خوراک استفاده شده بودند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که اندازه ذره خوراک نه تنها بر عملکرد رشد، بلکه بر استفاده مؤثر از پروتئین‌ها، آمینواسیدها و عناصر معدنی در بدن پرنده تأثیرگذار است، و در کنار نوع فرآوری خوراک می‌تواند نتایج متابولیکی متفاوتی ایجاد کند.

تأثیر اندازه ذرات خوراک بر کیفیت بستر

راهکارهای مختلف مدیریتی و تغذیه‌ای، از جمله نوع بستر و استفاده از مواد خوراکی با ذرات درشت، برای کاهش رطوبت بستر طی دوره پرورش طیور به کار گرفته می‌شوند (Kheravii و همکاران، ۲۰۱۷a,b). با این حال، منابع علمی درباره‌ی تأثیر اندازه ذرات خوراک بر کیفیت بستر هنوز محدود است.

دو مطالعه از Xu و همکاران (۲۰۱۵؛ ۲۰۱۷) گزارش کردند که استفاده از ذرت درشت آسیاب‌شده در جیره پلت شده‌ی جوجه‌های گوشتی، به شکل معنی‌داری موجب کاهش رطوبت و نیتروژن بستر شد. آن‌ها توضیح دادند که



استفاده از حدود ۵۰ درصد ذرت درشت آسیاب شده باعث کاهش غلظت آمونیاک و رطوبت بستر شد. با این حال، مکانیسم دقیق این اثر هنوز به خوبی شناخته نشده است.

در تأیید این موضوع، Carre و همکاران (2002) رابطه‌ای معکوس بین دفع آب و استفاده از ذرات درشت گندم گزارش کردند. این مطالعه بیان می‌کند که افزایش زمان نگهداری مواد غذایی در دستگاه گوارش (به‌ویژه در سنگدان)، می‌تواند فرصت بیشتری برای بازجذب آب ایجاد کند.

تأثیر اندازه ذرات خوراک بر مصرف خوراک

تأثیر اندازه ذرات مواد تشکیل‌دهنده خوراک در جیره‌های پلت‌شده و مش‌شده متفاوت است. به‌طور کلی، به دلیل رفتار انتخابی طیور در مصرف خوراک، اثر اندازه ذره در جیره‌های مش بیشتر نمایان می‌شود. با این حال، مطالعات نشان داده‌اند که اندازه ذرات حتی در خوراک پلت نیز می‌تواند به‌طور معناداری مصرف خوراک را تحت تأثیر قرار دهد.

برای مثال، Naderinejad و همکاران (2016) گزارش کردند که پلت‌سازی خوراک با اندازه‌های مختلف ذرات، عملکرد پرندگان را بهبود می‌بخشد. در پژوهشی دیگر، Bozkurt و همکاران (2019) دریافتند که پولت‌هایی که از روز اول تا ۱۱۲ روزگی با خوراک کرامبل تغذیه شدند، خوراک کمتری مصرف کرده (۴۶/۲ گرم) و ضریب تبدیل غذایی بهتری نسبت به گروه مش‌خوراک (۴۷/۱ گرم) داشتند. از سوی دیگر، Serrano و همکاران (2013) نشان دادند که جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با خوراک مش از روز ۱ تا ۲۵، در مقایسه با جوجه‌های دریافت‌کننده کرامبل یا پلت، مصرف خوراک روزانه، افزایش وزن روزانه کمتر و FCR ضعیف‌تری داشتند (۵۲ گرم در مقابل ۵۸/۱ و ۶۲/۷ گرم به ترتیب). همچنین، در خوراک پلت‌شده با ذرات درشت (۹۵۳ میکرومتر)، میزان مصرف خوراک روزانه در دوره‌های آغازین، رشد و کل دوره پرورش بیشتر از خوراک مش با همان اندازه ذرات بود:



• روز ۰-۲۱: ۵۴ در مقابل ۴۸/۲ گرم

• روز ۲۲-۴۲: ۱۶۰/۱ در مقابل ۱۵۲/۴ گرم

• روز ۰-۴۲: ۱۰۷/۱ در مقابل ۱۰۰/۳ گرم

به علاوه، Zang و همکاران (2009) نیز گزارش کردند که خوراک پلت شده با ذرات ریز (۵۹۷ میکرومتر)، نسبت به خوراک مش با ذرات مشابه، مصرف خوراک بیشتری را تحریک می کند.

تأثیر اندازه ذرات و شکل فیزیکی خوراک بر مصرف خوراک

فرآیند کرامبل کردن خوراک (با قطعاتی به اندازه ۲ تا ۳ میلی متر) در مرغ های تخم گذار طی دوره ۲۱ تا ۵۲ هفتگی، موجب افزایش معنی دار مصرف خوراک (به طور میانگین ۱۱۴/۸ گرم در روز) نسبت به خوراک مش شده (۱۰۷/۸ گرم در روز) شد (Ege et al., 2019).

Jia و Slominski (2010) نیز گزارش کردند که گنجاندن ۱۵ درصد بذر کتان آسیاب شده به صورت بسیار ریز در جیره مش شده بر پایه ذرت-سویا برای جوجه های گوشتی از روز پنجم تا هجدهم، مصرف خوراک را به طور معناداری کاهش داد، در حالی که پلت کردن همان جیره (چه حاوی بذر کتان کامل، آسیاب درشت ۳/۵ میلی متری یا ریز ۲ میلی متری) باعث افزایش مصرف خوراک شد.

بر اساس مطالعه Zang و همکاران (2009)، استفاده از اندازه های مختلف ذرات ذرت (۳ میلی متر در مقابل ۵ میلی متر) در جیره های مش و پلت، تفاوت معناداری در مصرف خوراک جوجه های گوشتی نشان نداد. همچنین، Chewning و همکاران (2012) اشاره کردند که ارتباطی بین اندازه ذرات و میزان مصرف خوراک در خوراک پلت شده مشاهده نشد.



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

با این وجود، آسیاب درشت غلات (۸ میلی‌متر) در پولت‌ها (۱ تا ۱۱۲ روزگی) منجر به بهبود ضریب تبدیل غذایی (FCR) بدون تغییر معنی‌دار در مصرف خوراک نسبت به آسیاب ریز (۴ میلی‌متر) شد. (Bozkurt et al., 2019) همچنین، Ege و همکاران (2019) گزارش کردند که افزایش اندازه ذرات غلات از ۴ به ۸ میلی‌متر تأثیری بر مصرف خوراک مرغ‌های تخم‌گذار در دوره ۲۱ تا ۵۲ هفتگی نداشت.

با این حال، Safaa و همکاران (2009) نشان دادند که افزایش اندازه ذرات ذرت یا گندم از ریز (۶ میلی‌متر) و متوسط (۸ میلی‌متر) به درشت (۱۰ میلی‌متر) در مرغ‌های تخم‌گذار در دوره ۲۰ تا ۴۸ هفتگی، موجب افزایش معنی‌دار مصرف خوراک روزانه شد (به ترتیب ۱۰۷/۹، ۱۰۸ و ۱۱۰/۶ گرم در روز).

تأثیر اندازه ذرات خوراک بر هضم‌پذیری

اگرچه داده‌های موجود درباره تأثیر اندازه ذرات خوراک بر هضم‌پذیری محدود است. اما فرضیه منطقی بر این اساس است که ذرات ریز خوراک سطح تماس بیشتری دارند و ممکن است تماس مواد هضمی با آنزیم‌های گوارشی در دستگاه گوارش را افزایش داده و در نتیجه هضم مواد مغذی را بهبود بخشند.

مطابق با این فرض، کاهش اندازه ذرات خوراک می‌تواند به طور معنی‌داری انرژی قابل استفاده متابولیک (AME) را در جوجه‌های گوشتی ۱۹ تا ۲۱ روزه افزایش دهد. (Kilburn and Edwards, 2001; Zang et al., 2009) نتایج گزارش شده توسط Crevieu و همکاران (۱۹۹۷) نشان داد که خوراک آسیاب شده ریز، قابلیت هضم ظاهری پروتئین خام را نسبت به خوراک آسیاب درشت افزایش می‌دهد.

از سوی دیگر، در مرغ‌های تخم‌گذار هیبریدی ۲۱ تا ۵۲ هفته، ضرایب هضم پروتئین و ماده خشک در پاسخ به تغییرات شکل خوراک (کرامبل یا مش) و اندازه ذرات (۴ و ۸ میلی‌متر) تغییر معنی‌داری نداشت (Ege et al., 2019).



با این حال، هضم انرژی کل و پروتئین در انتهای ایلئوم جوجه‌های گوشتی ۲۴ روزه‌ای که ذرات ذرت درشت (۲۹۸۲ میکرومتر) دریافت کردند، در مقایسه با جوجه‌هایی که ذرات ریز (۹۴۱ میکرومتر) دریافت کردند، افزایش یافت. (Kheravii et al., 2017b)

مطالعه‌ای دیگر نیز نشان داد که در جوجه‌های گوشتی ۲۴ روزه، ذرت آسیاب درشت (۳۵۷۶ میکرومتر) هضم پروتئین ایلئومی بهتری نسبت به ذرت آسیاب ریز (۱۱۱۳ میکرومتر) ایجاد می‌کند. (Kheravii et al., 2018c)

بر اساس یافته‌های Attia و همکاران (2014)، افزایش اندازه پلت در جیره جوجه‌های گوشتی موجب کاهش تدریجی مصرف خوراک از روز ۲۱ تا ۳۷ شد:

- خوراک مش: ۲۴۳۹ گرم به‌ازای هر پرنده
- پلت با اندازه ۲-۲ میلی‌متر: ۲۲۳۲ گرم
- پلت ۲-۳ میلی‌متر: ۲۲۱۱ گرم
- پلت ۳-۳,۵ میلی‌متر: ۲۱۹۹ گرم

قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی در جوجه‌های گوشتی

مطالعه‌ای توسط Attia et al. (۲۰۱۴) به بررسی درصد هضم ظاهری ماده خشک، پروتئین خام، عصاره اتری و فیبر خام در جوجه‌های گوشتی طی دوره ۲۱ تا ۳۷ روزگی پرداخت. در این تحقیق، جوجه‌ها با خوراک مش و پلت‌هایی با اندازه‌های مختلف (۲-۲، ۲-۳ و ۳-۳,۵ میلی‌متر) تغذیه شدند. نتایج نشان داد که شکل خوراک (مش یا پلت) تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هضم ماده خشک نداشت. در مقابل، کمترین میزان هضم ظاهری پروتئین خام،



فیبر و عصاره اتری به طور معنی داری در گروه تغذیه شده با خوراک مش مشاهده شد، در حالی که بین اندازه های مختلف پلت، تفاوت آماری معنی داری در این شاخص ها گزارش نشد.

قابلیت هضم نشاسته در ایلئوم مرغ های تخم گذار

در یک مطالعه ۲۱ روزه، *Ruhnke et al.* (2015) گزارش کردند که قابلیت هضم نشاسته در بخش ایلئوم مرغ های تخم گذار ۱۹ هفته ای به طور معنی داری تحت تأثیر اندازه ذرات خوراک و نوع فراآوری حرارتی قرار گرفت. مرغ هایی که با خوراک درشت تغذیه شدند، هضم نشاسته بالاتری (۹۶,۹٪) نسبت به گروهی که با خوراک ریز تغذیه شدند (۹۵,۷٪) نشان دادند. همچنین، خوراک مش نسبت به خوراک expandate (فراوری حرارتی) موجب افزایش معنی دار هضم نشاسته شد (۹۷,۳٪ در برابر ۹۵,۹٪). علاوه بر این، یک اثر متقابل میان اندازه ذرات و نوع فراآوری حرارتی مشاهده شد، به طوری که قابلیت هضم نشاسته در خوراک ریز با فراآوری expandate ۹۴/۵ درصد (به طور چشمگیری کمتر از خوراک درشت در قالب مش ۹۷ درصد) بود.

تأثیر اندازه ذرات خوراک بر قابلیت هضم مواد مغذی در مرغ های تخم گذار

طبق گزارش *Ege et al.* (2019)، کاهش اندازه ذرات خوراک به ۴ میلی متر (در مقایسه با ۸ میلی متر) باعث افزایش ضریب هضم خاکستر خام (Crude Ash) و عصاره اتری (Ether Extract) در مرغ های تخم گذار در بازه سنی ۲۱ تا ۵۲ هفتگی شد. به طور مشخص، ضریب هضم خاکستر خام و عصاره اتری در خوراک ریز به ترتیب ۵۴/۲۵ درصد و ۸۱/۴۰ درصد بود، در حالی که این ارقام در خوراک درشت به ترتیب ۵۰/۱۲ درصد و ۷۷/۱۷ درصد گزارش شد. با این حال، شکل فیزیکی خوراک (مش یا کرامبل) تأثیری بر این شاخص ها نداشت.

همچنین *Jia and Slominski* (2010) نشان دادند که کاهش اندازه ذرات دانه کتان از طریق آسیاب کردن (چه در حالت درشت و چه ریز)، قابلیت هضم چربی در ایلئوم را بهبود می بخشد، اما این تغییر در اندازه ذرات تأثیر



معناداری بر عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی در بازه سنی ۵ تا ۱۸ روزگی نداشت، چه در جیره های مش و چه پلت شده.

تأثیر اندازه ذرات سنگ آهک (Limestone) بر قابلیت هضم کلسیم و فسفر در جوجه‌های گوشتی

طبق گزارش Li و همکاران در سال ۲۰۰۱، جوجه‌های گوشتی که در سنین ۲۰ تا ۲۲ روزگی به مدت ۳۶ ساعت با خوراک مش حاوی سنگ آهک با اندازه ذرات ریز (۱۵۰ میکرومتر) تغذیه شدند، هضم ایلئومی استاندارد شده (SID) کلسیم پایین‌تری (۳۸/۰۹ درصد) نسبت به جوجه‌هایی که سنگ آهک با ذرات درشت‌تر (۸۰۰ میکرومتر) دریافت کردند، نشان دادند (۴۹/۱۸ درصد)، فارغ از این‌که فیتاز به جیره افزوده شده باشد یا نه. همچنین SID فسفر نیز در حضور یا عدم حضور ۱۰۰۰ واحد فیتاز در هر کیلوگرم خوراک، در گروه دریافت‌کننده سنگ آهک ریز کمتر بود. در مطالعه‌ای مشابه، (Kim et al. (2019 نیز دریافتند که اندازه ذرات کوچک‌تر سنگ آهک، حتی اگر از یک منبع تأمین شده باشد، به‌طور معناداری قابلیت هضم ظاهری ایلئومی کلسیم را نسبت به اندازه‌های بزرگ‌تر کاهش می‌دهد، مستقل از نسبت کلسیم به فسفر فیتاته موجود در جیره.

Anwar و همکاران نیز گزارش کردند که قابلیت ابقا کلسیم از سنگ آهک (Ca retention) در گروه‌هایی که سنگ آهک با اندازه ذرات بزرگ‌تری (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میکرومتر) دریافت کردند، نسبت به ذرات ریزتر (کمتر از ۵۰۰ میکرومتر) افزایش یافت؛ این افزایش مستقل از نسبت کلسیم به فسفر فیتاته در جیره بود.

بنابراین، افزایش حلالیت سنگ آهک (LM) ناشی از کاهش اندازه ذرات آن (در حالی که از منبع مشابهی تأمین شده باشد)، نه تنها سودمند نیست، بلکه برای قابلیت هضم کلسیم و فسفر زیان‌آور نیز می‌باشد.

Moradi و همکاران (2021) گزارش کردند که ضریب قابلیت هضم ظاهری ایلئومی فسفر (CAID) در جوجه‌های گوشتی ۲۱ روزه، با مصرف ذرات درشت ذرت (۱۰۷۱ میکرومتر) بالاتر از ذرات ریز (۵۳۴ میکرومتر) بود (به ترتیب



۰/۵۲۸ در برابر ۰/۴۹۳). با این حال، ضریب قابلیت هضم ظاهری ایلئومی پروتئین، چربی، خاکستر و کلسیم تفاوت معناداری بین دو گروه نشان نداد.

در مرغ‌های تخم‌گذار ۱۹ هفته‌ای، قابلیت هضم ظاهری کل (ATD) برای فسفر در جیره‌های حاوی ذرات ریز خوراکی ($<1.8\text{ mm}$) بالاتر بود، در حالی که برای آهن پایین‌تر گزارش شد. همچنین، ATD آهن در خوراک مش حاوی ذرات درشت، بیشتر از خوراک مش با ذرات ریز بود (Hafeez et al., 2015).

علل احتمالی تفاوت نتایج در تحقیقات مختلف هنوز به‌طور دقیق مشخص نشده است. به‌عنوان مثال، روش‌های آسیاب کردن بر قابلیت هضم ظاهری کل (ATD) مس و آهن تأثیر گذاشتند، در حالی که تأثیری بر ATD سایر مواد معدنی و عناصر کمیاب نداشتند. علاوه‌براین، یک اثر تعاملی بین روش آسیاب و تیمار حرارتی بر ATD منیزیم و آهن مشاهده شد (Hafeez et al., 2015).

نتیجه‌گیری

می‌توان نتیجه گرفت که شکل فیزیکی خوراک و اندازه ذرات آن تأثیرات متنوعی بر عملکرد، ساختار و مورفولوژی دستگاه گوارش طیور دارند و این موضوع، چشم‌انداز امیدوارکننده‌ای را برای صنعت طیور فراهم می‌کند. افزایش تدریجی اندازه ذرات خوراک با افزایش سن جوجه‌ها توصیه می‌شود. همچنین، فرآیند پلت‌سازی یکی از حوزه‌های نوظهور و روبه رشد در تغذیه طیور است.

با این حال، افزایش اندازه ذرات تا سطح توصیه‌شده در خوراک پلت، مستلزم کیفیت بالای فرآیند پلت‌سازی است؛ کیفیتی که از طریق شاخص‌هایی نظیر دوام و سختی پلت قابل ارزیابی است. بنابراین، توجه ویژه‌ای باید به استفاده از پلت بایندها، نوع آن‌ها و تأثیراتشان بر سایر مواد مغذی و عملکرد پرندگان معطوف گردد.



سروش رشد



Feed Safety for Food Safety®

در نهایت، لازم است تحقیقات بیشتری در زمینه تعیین اندازه ذرات خوراکی که از نظر اقتصادی، برای تولید انبوه تخم مرغ در گله های مرغ تخم گذار امروزی بهینه باشد، صورت گیرد.

دکتر پرستو شکری 



