

Evaluation of Growth Parameters of Japanese Quails Fed with Different Levels of Energy and Protein Using the Gompertz Model

Mojtaba Afshin¹, Tiyam Radin², Hossein Naeimipour Younesi^{2*}

1- Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

2- Department of Animal Science, North Khorasan Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, AREEO, Bojnourd, Iran.

hnaeimipour@gmail.com

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2026.97994.1300>

Introduction: Quail production, as an emerging sector within the livestock and poultry industry, has attained a distinctive position in animal production systems and continues to expand in response to increasing market demand. Owing to their short generation interval, early sexual maturity, and desirable egg-laying capacity, quails are regarded by industrial and commercial producers as an efficient and profitable species. In recent years, the rising cost of feed has prompted poultry producers to place greater emphasis on precision nutrition strategies aimed at accurately meeting the animals' nutrient requirements in order to optimize growth performance. Among the nutritional requirements of poultry, dietary energy and protein are recognized as the primary limiting factors influencing productive performance. The objective of the present study was to apply the Gompertz growth model to estimate the growth parameters of Japanese quails fed diets containing different levels of dietary energy and protein. Predicting growth rates at various stages of rearing enables the determination of nutrient requirements and facilitates the development of the most economically efficient feeding management program. One of the most commonly used approaches for predicting growth performance is the application of mathematical growth models.

Materials and Methods: A total of 360 Japanese quails were used in a completely randomized design arranged in a 2×3 factorial structure, including two levels of metabolizable energy (2800 and 2900 kcal/kg) and three levels of crude protein (22%, 24%, and 26%). Each treatment consisted of four replicates with 15 quails per replicate. The levels of other nutrients, except for energy and protein, were adjusted according to the nutrient requirements of poultry recommended by the National Research Council (NRC, 1994), and diets were formulated using the UFFDA software. The lighting program during the experimental period included 23 hours of light and 1 hour of darkness. Birds had free access to feed and water throughout the trial. Body weights were recorded on days 0, 5, 10, 14, 21, 28, 35, and 42 of the rearing period. For weighing, birds were fasted for three hours and weighed at 8:00 a.m. using a digital scale.

Results and Discussion: The results showed that the initial body weights did not differ significantly among treatments. Quails fed diets containing 22% crude protein and 2800 kcal/kg metabolizable energy (treatment 1) exhibited higher final weight and the weight of inflection point compared with those fed diets containing 26% crude protein with 2800 kcal/kg energy (treatment 3) and 22% crude protein with 2900 kcal/kg energy (treatment 4). The lower final weight observed in treatments 3 and 4 could be attributed to an imbalance between available energy and amino acid supply. Increasing dietary protein without sufficient energy likely caused part of the amino acids to be oxidized for energy production rather than used for muscle protein synthesis. Conversely, excessive energy with inadequate protein may have stimulated lipogenesis (fat deposition), resulting in greater fat accumulation instead of muscle growth. In treatment 1 (22% crude protein), the time of inflection point occurred later (46.33 days) than in treatment 3 (30.77 days) and treatment 6 (32.89 days), both of which contained 26% crude protein. These findings indicate that increasing

dietary protein up to about 26% can shorten the age at the inflection point. However, increasing the protein level in combination with an appropriate energy level (Treatment 6: 26% crude protein and 2900 kcal of energy) did not result in a statistically significant difference in final body weight and weight at the inflection point compared with Treatment 1; nevertheless, the age at the inflection point was shorter in this treatment.

Conclusion: Based on the Gompertz growth model, the dietary energy-to-protein ratio played a significant role in shaping the growth pattern of quail. Treatment 1, with an energy-to-protein ratio of 127.3, exhibited the highest final body weight (674.54 g), the greatest body weight at the inflection point (248.15 g), and the highest age at the inflection point (46.31 days). In contrast, Treatments 3 (107.7) and 4 (131.8) showed the lowest final body weight and body weight at the inflection point, indicating a reduced growth potential. Although Treatment 6, with an energy-to-protein ratio of 111.5, did not differ significantly from Treatment 1 in terms of final body weight or body weight at the inflection point, its age at the inflection point (32.89 days) was lower than that of Treatment 1, suggesting that the birds reached their maximum growth rate at an earlier age. Considering final body weight, body weight at the inflection point, and age at the inflection point simultaneously, an energy-to-protein ratio ranging from 111.5 to 127.3 can be recommended as the optimal range for achieving desirable growth performance in quail.

Keywords: Metabolizable Energy, Japanese quail, Growth parameters, Crude Protein, Nonlinear Gompertz model

استفاده از مدل غیرخطی گمپرتز برای تخمین پارامترهای رشد بلدرچین‌های ژاپنی تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف انرژی و پروتئین

مجتبی افشین^۱، تیام رادین^۲، حسین نعیمی پور یونسی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۶

۱. گروه علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بجنورد، ایران

۲. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

hnaeimipour@gmail.com

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2026.97994.1300>

چکیده

در این پژوهش پارامترهای رشد بلدرچین ژاپنی با استفاده از مدل غیرخطی گمپرتز، تحت تأثیر سطوح مختلف انرژی و پروتئین جیره، مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، تعداد ۳۶۰ قطعه بلدرچین ژاپنی با جنسیت مخلوط (نر و ماده) در قالب طرح کاملاً

تصادفی و به صورت فاکتوریل 2×3 شامل دو سطح انرژی قابل متابولیسم (۲۸۰۰ و ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم) و سه سطح پروتئین خام (۲۲، ۲۴ و ۲۶ درصد) به کار گرفته شد. برای هر تیمار چهار تکرار و در هر تکرار ۱۵ قطعه بلدرچین در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد وزن اولیه بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی داری نداشت. بلدرچین‌های تغذیه شده با جیره حاوی ۲۲ درصد پروتئین خام و ۲۸۰۰ کیلوکالری انرژی (تیمار ۱) وزن نهایی و وزن در نقطه عطف منحنی رشد بالاتری در مقایسه با تیمارهای حاوی ۲۶ درصد پروتئین خام با ۲۸۰۰ کیلوکالری انرژی (تیمار ۳) و ۲۲ درصد پروتئین خام با ۲۹۰۰ کیلوکالری انرژی (تیمار ۴) داشتند ($P \leq 0.05$). تیمار ۶ (۲۶ درصد پروتئین خام و ۲۹۰۰ کیلوکالری انرژی) و تیمار ۳ (۲۶ درصد پروتئین خام و ۲۸۰۰ کیلوکالری انرژی) موجب کاهش معنی دار سن در نقطه عطف در مقایسه با تیمار ۱ (۲۲ درصد پروتئین خام و ۲۸۰۰ کیلوکالری انرژی) گردید ($P \leq 0.05$). نتایج این پژوهش نشان داد که نسبت انرژی به پروتئین جیره، الگوی رشد بلدرچین را به طور معنی داری تحت تأثیر قرار می دهد. بر اساس برازش مدل گمپرتز، نسبت انرژی به پروتئین در محدوده ۱۱۱/۵ تا ۱۲۷/۳، با ایجاد وزن نهایی و وزن نقطه عطف مطلوب و دستیابی به الگوی رشد مناسب، به عنوان محدوده مناسب برای بهبود عملکرد رشد بلدرچین ها در شرایط این پژوهش پیشنهاد می شود.

واژه کلیدی: انرژی قابل متابولیسم، بلدرچین ژاپنی، پارامترهای رشد، پروتئین خام، مدل غیرخطی گمپرتز

مقدمه

در سال های اخیر پرورش بلدرچین به عنوان صنعتی نوین، جایگاه ویژه ای در تولیدات دام و طیور به دست آورده است و با توجه به افزایش تقاضا، روند توسعه آن همچنان ادامه دارد. این پرنده به دلیل فاصله نسلی کوتاه، بلوغ جنسی زودرس و راندمان تخم گذاری بالا، از نگاه پرورش دهندگان صنعتی و تجاری به عنوان گونه ای کارآمد و سودآور شناخته می شود (Mirzadeh et al., 2022). در پی افزایش قیمت خوراک در سال های اخیر، پرورش دهندگان طیور به طور فزاینده ای بر تغذیه دقیق حیوانات تمرکز می کنند که هدف آن برآورده کردن نیازهای غذایی حیوانات برای بهینه سازی عملکرد رشد، تولید محصولات با کیفیت بالا، جلوگیری از هدر رفتن خوراک و کاهش آلودگی محیط زیست است (Zhang et al., 2020). در میان نیازهای تغذیه ای طیور، انرژی و پروتئین به عنوان مهم ترین عوامل محدود کننده تولید شناخته می شوند (Alagawany et al., 2019; Ashour et al., 2020; ElHindawy et al., 2021). این دو جزء بیشترین سهم را در هزینه نهایی خوراک به خود اختصاص می دهند.

از این رو، استفاده از جیره‌های غذایی با سطوح انرژی و پروتئین مناسب امکان صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌های تولید فراهم می‌کند (Ashour et al., 2024; Alagawany et al., 2022). سطح مطلوب انرژی قابل متابولیسم و پروتئین خام در جیره بلدرچین توسط کمیته تحقیقات ملی آمریکا به ترتیب ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم و ۲۴ درصد گزارش شده است (NRC, 1994). برای تغذیه بلدرچین‌های ژاپنی در حال رشد، استفاده از جیره‌ای حاوی ۳۰۰۰ کیلوکالری انرژی قابل متابولیسم و ۲۴ درصد پروتئین خام از سن ۱ تا ۶ هفتگی توصیه شده است (Ashour et al., 2022). گزارش شده است که بلدرچین‌های ژاپنی در حال رشد، برای دستیابی به ضریب تبدیل غذایی مطلوب در دوره ۱ تا ۵ هفتگی، به جیره‌ای حاوی ۳۱۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی قابل متابولیسم و ۲۳/۲۳ درصد پروتئین خام نیاز دارند (Kaur et al., 2008). بهترین بازده رشد در بلدرچین‌های ژاپنی با جیره‌هایی حاصل شده است که دارای ۲۸۵۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی قابل متابولیسم و ۲۶ درصد پروتئین خام بوده است (Yazarloo et al., 2016).

رشد به افزایش توده بدن حیوان در واحد زمان اطلاق می‌شود (Goliomytis et al., 2003). پیش‌بینی نرخ رشد در مراحل مختلف پرورش، امکان تعیین نیازهای مواد مغذی پرنده و ارائه اقتصادی‌ترین برنامه مدیریت تغذیه را فراهم می‌کند. یکی از روش‌های متداول برای پیش‌بینی رشد، استفاده از مدل‌های غیرخطی رشد است (Nikkhah et al., 2008). معادلات رشد متعددی برای توصیف و برازش روابط سیگموئیدی و غیرخطی بین رشد و زمان ارائه شده است (Roush & Branton, 2005). توابع غیرخطی رشد به‌طور گسترده‌ای برای شناخت تغییرات وزن بدن بر حسب سن استفاده می‌شود (Ahmadi & Golian, 2008). مدل‌های رشد گمپرتز، لجستیک و ریچاردز اغلب برای برآورد پاسخ رشد طیور استفاده می‌شوند (Ahmadi & Golian, 2013; Rizzi et al., 2008). تابع گمپرتز از جمله قدیمی‌ترین و متداول‌ترین روابط غیرخطی برای پیش‌بینی الگوی رشد است (Simianer & Sorensen, 2016). در یک مطالعه، برای بررسی الگوی رشد بوقلمون، از توابع غیرخطی گمپرتز، لجستیک، مورگان-مرسر-فلودین و ریچاردز استفاده شد. با در نظر گرفتن معیارهای مختلف انتخاب مدل، توابع گمپرتز، لجستیک و ریچاردز به‌عنوان مناسب‌ترین مدل‌ها برای توصیف الگوی رشد در بوقلمون معرفی شدند (Sengul & Kiraz, 2005). همچنین مناسب‌ترین تابع برای مدل‌سازی الگوی رشد در سویه‌های بلدرچین وحشی و خالدار ایتالیایی، تابع گمپرتز تشخیص داده شد (Faraji-Arough et al., 2018).

پارامترهای منحنی رشد که از قابلیت تفسیر بیولوژیکی برخوردارند، قادر به تصحیح اثرات متغیرهای محیطی بر رشد هستند (Hyankova et al., 2001). یکی از معیارهای کلیدی در ارزیابی رشد، تعیین سن رسیدن به نقطه عطف منحنی رشد است. این نقطه، که در آن نرخ رشد به حداکثر مقدار خود می‌رسد، نشان‌دهنده طول دوره رشد نمایی است. با افزایش سن پرنده، سرعت رشد ابتدا افزایش یافته و پس از رسیدن به اوج، به تدریج کاهش می‌یابد و وارد فاز رشد کاهشی می‌شود؛ این تغییر در سرعت رشد منجر به تغییر شیب منحنی رشد می‌گردد (Faraji-Arough et al., 2018). تفسیر پارامترهای رشد باید با دقت مورد توجه قرار گیرد زیرا می‌توانند به توسعه استراتژی‌هایی کمک کنند که تضمین می‌کند تولید حیوانات کارآمد و مقرون‌به-صرفه است (Afrouziyeh et al., 2021). با توجه به اینکه هدف پژوهش حاضر بررسی اثر سطوح مختلف انرژی و پروتئین جیره بر پارامترهای رشد بلدرچین ژاپنی است، مدل گمپرتز به دلیل کاربرد گسترده در مطالعات رشد طیور، قابلیت تفسیر زیستی مناسب پارامترهای آن (از جمله وزن نهایی، ضریب رشد نسبی و نقطه عطف منحنی رشد) و همچنین گزارش عملکرد مطلوب آن در مدل‌سازی رشد بلدرچین در مطالعات پیشین (Faraji-Arough et al., 2018; Simianer & Sorensen, 2016; Jahan et al., 2024) به‌عنوان مدل مناسب برای این پژوهش انتخاب شد. بر این اساس، هدف مطالعه حاضر، برآورد پارامترهای رشد بلدرچین‌های ژاپنی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف انرژی و پروتئین با استفاده از مدل غیرخطی گمپرتز بود.

مواد و روش

برای انجام این پژوهش، از تعداد ۳۶۰ قطعه بلدرچین ژاپنی با جنسیت مخلوط (نر و ماده) استفاده شد. به دلیل عدم امکان تشخیص دقیق جنسیت در ابتدای دوره پرورش، پرندگان بدون تفکیک جنسیتی بین تیمارهای آزمایشی توزیع شدند. بلدرچین‌ها در ۲۴ قفس به ابعاد ۰/۹ × ۰/۵ متر بر روی بستر پوشال چوب خشک و تمیز با ضخامت تقریبی ۵ سانتی‌متر، توزیع شدند. دمای سالن در هفته اول روی ۳۶ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد و سپس به‌صورت تدریجی، هر هفته حدود ۳ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت تا به ۱۹ درجه سانتی‌گراد رسید؛ این دما تا پایان دوره آزمایش (۴۲ روزگی) در همین محدوده حفظ شد. رطوبت نسبی سالن در محدوده ۵۵ تا ۶۵ درصد و با استفاده از دستگاه رطوبت‌ساز و آب‌پاشی فضای بین قفس‌ها حفظ شد. برنامه نوری طی دوره آزمایش شامل ۲۳ ساعت روشنایی و ۱ ساعت تاریکی بود. آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و به‌صورت فاکتوریل (۲×۳)، شامل ۶ تیمار آزمایشی با دو سطح انرژی قابل متابولیسم (۲۸۰۰ و ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم) و سه سطح پروتئین خام (۲۲، ۲۴ و ۲۶ درصد) انجام گرفت. نسبت انرژی به پروتئین (E:P) برای تیمارهای مختلف برآورد گردید. تیمارهای آزمایشی شامل: (۱) جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین (۱۲۷/۳ = E:P)، (۲) جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین (۱۱۶/۷ = E:P)، (۳) جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین (۱۰۷/۷ = E:P)، (۴) جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین (۱۳۱/۸ = E:P)، (۵) جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین (۱۲۰/۸ = E:P)، (۶) جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین (۱۱۱/۵ = E:P) بودند. هر تیمار دارای چهار تکرار و هر تکرار شامل ۱۵ قطعه بلدرچین بود. سطح سایر مواد مغذی جیره‌ها، به جز انرژی و پروتئین، بر اساس جداول احتیاجات طیور انجمن تحقیقات ملی آمریکا (NRC, 1994) تنظیم و جیره‌ها با استفاده از نرم‌افزار UFFDA فرموله شدند. جیره‌های آزمایشی به‌صورت آردی تهیه و در طول دوره آزمایش در اختیار پرندگان قرار گرفت. ترکیب جیره‌های آزمایشی و مواد مغذی موردنیاز در جدول ۱ ارائه شده است. در طول دوره تحقیق پرندگان به‌صورت آزاد به آب و خوراک دسترسی داشتند. وزن‌کشی جوجه‌ها در روزهای ۵، ۱۰، ۱۴، ۲۱، ۲۸، ۳۵ و ۴۲ پرورش انجام شد. برای این منظور، پرندگان پس از ۳ ساعت گرسنگی در ساعت ۸ صبح با استفاده از ترازوی دیجیتالی به‌صورت گروهی (وزن هر تکرار) وزن‌کشی شدند.

جدول ۱- ترکیب و محتوای مواد مغذی جیره‌های آزمایشی

Table 1- Composition and Nutrient Content of the Experimental Diets

ماده خوراکی (%) Ingredient (%)	تیمارهای آزمایشی Experimental treatment					
	1	2	3	4	5	6
ذرت Corn	55.12	48.43	41.75	52.52	45.84	39.15
کنجاله سویا Soybean meal	38.98	44.86	50.74	39.50	45.38	51.26
روغن سویا Soybean oil	1.04	1.90	2.76	3.12	3.90	4.80
دی‌کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	2.40	2.36	2.32	2.40	2.36	2.32
سنگ آهک	1.77	1.76	1.74	1.77	1.75	1.73

Limestone						
مکمل ویتامینی ^۱ Vitamin premix ¹	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
مکمل معدنی ^۲ Mineral premix ²	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
نمک معمولی Common salt	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

مواد مغذی محاسبه شده (درصد به جز موارد ذکر شده)

Calculated contents (percent unless otherwise stated)						
انرژی قابل متابولیسم ME (kcal/kg)	2800	2800	2800	2900	2900	2900
پروتئین خام Crude protein	22	24	26	22	24	26
کلسیم Calcium	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
فسفر قابل استفاده Available phosphorus	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
لیزین Lysine	1.37	1.54	1.71	1.38	1.55	1.72
متیونین Methionine	0.38	0.41	0.43	0.38	0.40	0.43
متیونین + سیستین Methionine + Cystine	0.75	0.82	0.88	0.75	0.81	0.88

^۱ مکمل ویتامینی برای هر کیلوگرم جیره آزمایشی تامین کننده موارد زیر است: ۸۷۵۰ واحد بین المللی ویتامین A؛ ۲۵۰۰ واحد بین المللی ویتامین D3؛ ۲۲/۵ واحد بین المللی ویتامین E؛ ۲/۵ میلی گرم ویتامین K3؛ ۲/۲۵ میلی گرم ویتامین B1؛ ۸/۲۵ میلی گرم ویتامین B2؛ ۱۲/۵ میلی گرم ویتامین B3؛ ۳۷/۵ میلی گرم ویتامین B5؛ ۰/۳۷۵ میلی گرم ویتامین B6؛ ۱/۲۵ میلی گرم ویتامین B9؛ ۱۸/۷۵ میکروگرم ویتامین B12؛ ۶۲۵ میلی گرم کولین؛ ۱/۲۵ میلی گرم بیوتین.

^۲ مکمل معدنی برای هر کیلوگرم جیره آزمایشی تامین کننده موارد زیر است: ۱۲۵ میلی گرم منگنز، ۶۲/۵ میلی گرم آهن، ۱۲۵ میلی گرم روی، ۱۲/۵ میلی گرم مس، ۱/۲۵ میلی گرم ید، ۰/۲۵ میلی گرم سلنیوم.

¹ The vitamin premix for each kilogram of experimental diet provides the following: vitamin A, 8,750 IU; vitamin D3, 2,500 IU; vitamin E, 22.5 IU; vitamin K3, 2.5 mg; vitamin B1, 2.25 mg; vitamin B2, 8.25 mg; vitamin B3, 12.5 mg; vitamin B5, 37.5 mg; vitamin B6, 0.375 mg; vitamin B9, 1.25 mg; vitamin B12, 18.75 µg; choline, 625 mg; and biotin, 1.25 mg.

² The mineral premix for each kilogram of the experimental diet provides the following: manganese, 125 mg; iron, 62.5 mg; zinc, 125 mg; copper, 12.5 mg; iodine, 1.25 mg; and selenium, 0.25 mg.

به منظور برآورد فراسنجه‌ها رشد از تابع رشد گمپرتز استفاده گردید، تابع مورد نظر به صورت زیر است:

$$W_t = W_0 \times \exp^{((1 - \exp(-b \times t)) \times (\ln(\frac{W_f}{W_0})))}$$

رابطه ۱:

که در این فرمول W_t وزن مورد انتظار بدن (گرم) در زمان t ، W_0 وزن اولیه بدن (گرم)، b ضریب رشد نسبی، t سن پرنده (روز)، W_f وزن زنده نهایی (گرم) است. فراسنجه‌های مدل با استفاده از رویه PROC NLIN در نرم افزار SAS نسخه ۹ (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) برآورد شدند. برای محاسبه و تخمین زمان نقطه عطف منحنی رشد (t^* ، بر حسب روز) و وزن در زمان عطف منحنی (W^* ، بر حسب گرم) با استفاده از پارامترهای برآورد شده در مدل، از روابط زیر استفاده گردید.

$$t^* = \frac{1}{b} \ln \left(\ln \left(\frac{W_f}{W_0} \right) \right) \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$W^* = 0.368 \times W_f \quad \text{رابطه ۳:}$$

در این رابطه، عدد ۰/۳۶۸ ($e/1$) از ویژگی ریاضی تابع گمپترت و با مشتق‌گیری از تابع رشد و تعیین نقطه عطف منحنی به دست می‌آید؛ بنابراین، وزن در نقطه عطف برابر با ۳۶/۸ درصد وزن مجانب (وزن نهایی برآوردشده) است.

نتایج و بحث

در این آزمایش از مدل گمپترت برای برازش داده‌های رشد بلدرچین‌های ژاپنی تغذیه شده با سطوح مختلف انرژی و پروتئین استفاده شده است. این مدل یکی از مدل‌های رشد است که از آن به عنوان ابزاری مهم برای تعیین شاخص‌های بیولوژیکی مانند وزن بدن در سن خاص، حداکثر پاسخ رشد و نرخ رشد استفاده می‌شود (Roush & Branton, 2005). وزن ۵-۴۲ روزگی مشاهده شده در بلدرچین‌های دریافت‌کننده تیمارهای آزمایشی و وزن تخمین زده شده توسط مدل گمپترت نشان داده شده است (جدول ۲ و ۳). همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، وزن بدن بلدرچین‌ها در روزهای ۱۴، ۲۱، ۳۵ و ۴۲ تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت و اختلاف بین برخی تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود ($P \leq 0/05$), در حالی که در روزهای ۵، ۱۰ و ۲۸ اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. در روز ۱۴، وزن بدن پرندگان در تیمارهای ۳ و ۶ به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای ۲ و ۴ بود ($P \leq 0/05$). همچنین در روز ۲۱، تیمار ۶ وزن بالاتری نسبت به تیمار ۵ نشان داد ($P \leq 0/05$). در روز ۳۵، وزن بدن پرندگان در تیمار ۶ به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار ۲ بود ($P \leq 0/05$). همچنین در پایان دوره آزمایش (روز ۴۲)، تیمارهای ۵ و ۶ دارای وزن بدن بالاتری بودند و این مقادیر نسبت به تیمار ۲ به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($P \leq 0/05$), اما با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به ترتیب، بیشترین و کمترین وزن ۴۲ روزگی مشاهده شده در آزمایش ۲۲۹/۸۴ و ۱۹۴/۵۷ گرم بود (تیمار ۶ و تیمار ۲). این مقادیر توسط مدل غیرخطی گمپترت ۲۳۱/۶ و ۱۹۴/۵۸ گرم برآورد گردید (تیمار ۶ و تیمار ۲). میانگین اختلاف میان وزن‌های مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل گمپترت برای تمامی مشاهدات (۶ تیمار $\times$ زمان اندازه‌گیری) برابر با ۰/۲۱ گرم محاسبه شد (جدول ۳). پایین بودن این میزان اختلاف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا نشان‌دهنده دقت بالای مدل در برآورد پارامترهای کلیدی منحنی رشد، از جمله وزن مجانب، نرخ بلوغ و سن رسیدن به نقطه عطف است. در واقع، هرچه اختلاف بین مقادیر مشاهده‌شده و برآوردشده کمتر باشد، برازش مدل و قابلیت آن در توصیف الگوی رشد مطلوب‌تر خواهد بود. در مطالعه‌ای، محققان چندین مدل غیرخطی را برای توصیف رشد و رسوب مواد مغذی در بلدرچین‌های ماده ارزیابی کردند و گزارش دادند که مدل گمپترت دقیق‌ترین پیش‌بینی را برای وزن بدن ارائه می‌دهد. در آن پژوهش، میانگین اختلاف بین داده‌های مشاهده‌شده و مقادیر برآوردشده وزن بدن ۰/۴۴ گرم گزارش شد که به مقدار به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر (۰/۲۱ گرم) نزدیک است (Vieira et al., 2026). همچنین، Mirderikvandi و همکاران گزارش کردند که اختلاف بین وزن واقعی و وزن برآوردشده توسط یک مدل غیرخطی در سن ۴۲ روزگی مرغ گوشتی برابر با ۶/۰۵ گرم بوده است (Mirderikvandi et al., 2022). در مجموع، این یافته‌ها بیانگر توانایی بالای مدل گمپترت در پیش‌بینی رشد طیور در شرایط مدیریتی و محیطی مختلف بوده و کارایی این مدل را در توصیف الگوی رشد تأیید می‌کنند.

جدول ۲- وزن مشاهده شده بلدرچین‌ها در دوره ۵-۴۲ روزگی بوسیله تیمارهای آزمایشی

Table 2- Observed weights of Japanese quails during the 5-42-day period by experimental treatments

روز Day	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatment ¹						سطح معنی داری p-value	خطای استاندارد میانگین ^۲ SEM ²
	1	2	3	4	5	6		
5	14.39	14.56	14.66	14.78	14.53	14.94	0.861	0.12
10	24.31	22.36	24.10	22.26	23.03	25.18	0.083	0.35
14	34.32 ^{ab}	32.78 ^b	37.51 ^a	32.75 ^b	33.98 ^{ab}	37.40 ^a	0.004	0.53
21	63.40 ^{ab}	64.70 ^{ab}	72.83 ^{ab}	64.88 ^{ab}	62.11 ^b	77.09 ^a	0.015	1.59
28	106.76	100.84	123.47	110.85	109.20	127.71	0.054	2.94
35	159.76 ^{ab}	145.81 ^b	174.37 ^{ab}	156.15 ^{ab}	166.48 ^{ab}	184.76 ^a	0.043	4.06
42	208.69 ^{ab}	194.57 ^b	214.64 ^{ab}	207.94 ^{ab}	224.87 ^a	229.84 ^a	0.008	3.26

۱. جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین، ۲: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین، ۳: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین، ۴: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین، ۵: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین، ۶: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین

۲. اشتباه معیار میانگین‌ها (محاسبه شده بر اساس تعداد تکرار هر تیمار و مؤلفه واریانس خطای مدل در نرم افزار SAS)

* تمام وزن‌ها بر حسب گرم است

* حروف متفاوت (a و b) در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین تیمارها در همان روز بر اساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد است.

1. 1: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 22% protein; 2: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 24% protein; 3: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 26% protein; 4: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 22% protein; 5: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 24% protein; 6: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 26% protein.

2. Standard error of means (calculated based on the number of replicates per treatment and the error variance component of the model in SAS software)

* All weights are in grams

* Different superscript letters (a, b) within the same row indicate significant differences among treatment means according to Tukey's multiple comparison test at the 5% significance level.

جدول ۳- وزن پیش بینی شده و باقیمانده با مدل گمپرتز بلرچین‌ها در دوره ۵-۴۲ روزگی

Table 3- Predicted weight and residuals with Gompertz model for quails during the 5-42 day period

روز Day	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatment ¹											
	1		2		3		4		5		6	
	مقدار پیش بینی شده Predicted Valu	باقیمانده Residual	مقدار پیش بینی شده Predicted Valu	باقیمانده Residual	مقدار پیش بینی شده Predicted Valu	باقیمانده Residual	مقدار پیش بینی شده Predicted Valu	باقیمانده Residual	مقدار پیش بینی شده Predicted Valu	باقیمانده Residual	مقدار پیش بینی شده Predicted Valu	باقیمانده Residual
5	12.12	2.27	12.61	1.94	10.56	4.10	11.38	3.39	11.72	2.80	10.89	4.05
10	22.91	1.40	23.05	-0.68	23.38	0.71	22.31	-0.05	22.16	0.86	24.00	1.17
14	35.35	-1.02	34.81	-2.03	38.81	-1.30	35.06	-2.30	34.4	-0.42	39.86	-2.46
21	65.98	-2.58	63.25	1.45	76.24	-3.41	66.48	-1.59	65.43	-3.31	78.87	-1.77
28	107.25	-0.49	101.03	-0.18	122.5	0.89	108.2	2.63	109.1	0.12	128.1	-0.48
35	156.55	3.21	145.87	-0.06	171.1	3.18	156.8	-0.69	163.7	2.74	181.1	3.62
42	210.13	-1.44	194.58	-0.01	216.5	-1.87	208	-0.12	226.1	-1.25	231.6	-1.84

۱. جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین، ۲: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین، ۳: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین، ۴: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین، ۵: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین، ۶: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین

* تمام وزن‌ها بر حسب گرم است

1. 1: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 22% protein; 2: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 24% protein; 3: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 26% protein; 4: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 22% protein; 5: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 24% protein; 6: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 26% protein.

* All weights are in grams

مقادیر تخمین زده شده توسط مدل گمپرتز بر پارامترهای رشد وزن اولیه و وزن نهایی (وزن مجانب) بلدرچین‌های ژاپنی تغذیه شده با سطوح مختلف انرژی و پروتئین در جدول ۴ آورده شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که سطح انرژی و پروتئین جیره تأثیر معنی‌داری بر وزن اولیه بلدرچین‌های ژاپنی نداشت. این موضوع قابل انتظار است، زیرا در روزهای ابتدایی پس از خروج از تخم، وزن بدن عمدتاً تحت تأثیر ذخایر باقیمانده از کیسه زرده و نه ترکیب جیره است. پرندگان با دستگاه گوارش نابالغ با کیسه زرده که هنوز متصل است، تفریخ می‌شوند و از کربوهیدرات‌ها و اسیدهای آمینه غذایی به خوبی استفاده نمی‌کنند. جوجه با استفاده از ذخایر محدود بدن خود در چند روز اول پس از جوجه‌کشی، رشد فیزیکی و عملکردی سریعی در دستگاه گوارش خود تجربه می‌کند تا به ظرفیت هضم خوراک و جذب مواد مغذی دست یابد (Uni & Ferket, 2004). با این حال، در وزن نهایی، تفاوت معنی‌داری در پاسخ به تیمارهای آزمایشی مشاهده شد ($P \leq 0.05$)، که بیانگر حساسیت مرحله رشد به توازن انرژی-پروتئین است (جدول ۴). در مورد وزن نهایی بلدرچین‌ها، جیره‌های حاوی ۲۶ درصد پروتئین و ۲۸۰۰ کیلوکالری انرژی قابل متابولیسم (تیمار ۳) و تیمار حاوی ۲۲ درصد پروتئین و ۲۹۰۰ کیلوکالری انرژی قابل متابولیسم (تیمار ۴) وزن نهایی پایین‌تری در مقایسه با تیمار ۱ با پروتئین ۲۲ درصد و انرژی ۲۸۰۰ کیلوکالری انرژی قابل متابولیسم نشان دادند، اما سایر جیره‌ها با هم از نظر وزن نهایی تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). کاهش وزن نهایی در تیمارهای ۳ و ۴ می‌تواند ناشی از عدم تعادل میان عرضه انرژی و اسیدهای آمینه قابل استفاده باشد. در تیمار ۳، افزایش درصد پروتئین در غیاب سطح انرژی کافی احتمالاً منجر به استفاده از بخشی از اسیدهای آمینه برای تولید انرژی به‌جای سنتز بافت ماهیچه‌ای شده است؛ موضوعی که در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است و نتیجه آن کاهش بازده پروتئینی و در نهایت کاهش رشد است. در مقابل، در تیمار ۴ سطح انرژی بالا در حضور پروتئین ناکافی احتمالاً منجر به افزایش لیپوژنز (چربی‌سازی) شده و به‌جای رشد بافت عضلانی، رسوب بافت چربی افزایش یافته است (Yu et al., 2024; Heijmans et al., 2021).

لازم به ذکر است که وزن نهایی (وزن مجانب) بیانگر وزن نهایی نظری در مدل گمپرتز است که پرنده در صورت تداوم رشد تحت شرایط مشابه به آن نزدیک می‌شود. در مقابل، وزن پیش‌بینی‌شده در روز ۴۲ تنها وزن برآوردشده توسط مدل در پایان دوره آزمایش (۴۲ روزگی) است؛ بنابراین، این دو شاخص از نظر زیستی مفاهیم متفاوتی را نشان می‌دهند. پارامترهای برآورد شده با استفاده از تابع رشد گمپرتز برای سویه بلدرچین وحشی نر و ماده، به ترتیب وزن اولیه ۵/۳۶۸ و ۵/۴۸۵ گرم، و وزن نهایی ۳۰۱/۸ و ۲۹۸/۵ گرم گزارش شده است (Jahan et al., 2024). محدوده وزن اولیه و وزن نهایی برآوردشده توسط مدل گمپرتز برای بلدرچین‌های ژاپنی تغذیه شده با غلظت‌های مختلف مواد مغذی به‌ترتیب ۱۰/۷۵ – ۹/۴۱ گرم و ۲۶۹–۲۹۵/۴ گرم گزارش شده است (Ahadi et al, 2016). همچنین در مطالعه دیگر وزن نهایی ۴۱۷/۵ گرم برای وزن نهایی گزارش شده است (Ebrahimi et al, 2016). در مطالعه‌ای دیگر بر روی جوجه‌های گوشتی که با سطح ۲/۵ درصد دانه شاهدانه تغذیه شده بودند، وزن اولیه ۳۷/۸۳ گرم و وزن نهایی ۶۲۰۷/۴۰ گرم با استفاده از مدل گمپرتز گزارش شده است (Mirderikvandi et al., 2022).

جدول ۴- اثر سطوح مختلف انرژی و پروتئین بر برآورد پارامترهای وزن اولیه (W_0) و وزن نهایی (W_t) بلدرچین‌های ژاپنی توسط مدل گمپرتز
Table 4- Effect of different energy and protein levels on the estimation of initial weight (W_0) and final weight (W_t) of Japanese quails by the Gompertz model

	تیمارهای آزمایشی ^۱					
	Experimental treatment ¹					
	1	2	3	4	5	6
وزن اولیه (W_0) Initial weight	5.75	5.08	3.87	3.73	3.84	4.03

اشتباه معیار میانگین‌ها ^۲ SEM ²	0.51	0.59	0.51	0.59	0.59	0.51
وزن نهایی (W _f) Final weight	674.54 ^a	458.69 ^{ab}	384.40 ^b	416.13 ^b	476.87 ^{ab}	454.02 ^{ab}
خطای استاندارد میانگین ^۲ SEM ²	51.27	59.20	51.27	59.20	59.20	51.27

^۱. ۱: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین، ۲: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین، ۳: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین، ۴: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین، ۵: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین، ۶: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین

^۲. اشتباه معیار میانگین‌ها (محاسبه شده بر اساس تعداد تکرار هر تیمار و مؤلفه واریانس خطای مدل در نرم افزار SAS)

^۱. 1: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 22% protein; 2: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 24% protein; 3: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 26% protein; 4: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 22% protein; 5: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 24% protein; 6: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 26% protein.

^۲. Standard error of means (calculated based on the number of replicates per treatment and the error variance component of the model in SAS software)

اثر سطوح مختلف انرژی و پروتئین بر پیش‌بینی سن در نقطه عطف در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد اختلاف تیمارهای آزمایشی در پارامتر سن در نقطه عطف معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). سن نقطه عطف رشد در تیمار ۱ (۲۲ درصد پروتئین و ۲۸۰۰ کیلوکالری انرژی) به‌طور آماری نسبت به تیمار ۳ (۲۶ درصد پروتئین و ۲۸۰۰ کیلوکالری انرژی) و تیمار ۶ (۲۶ درصد پروتئین و ۲۹۰۰ کیلوکالری انرژی) تفاوت معنی‌داری نشان داد، در حالی که سایر جیره‌های آزمایشی اختلاف معناداری نداشتند. در تیمار ۱ با سطح پروتئین ۲۲ درصد، نقطه عطف رشد در زمان دیرتری (۴۶/۳۳ روز) نسبت به تیمار ۳ (۳۰/۷۷ روز) و تیمار ۶ (۳۲/۸۹ روز) مشاهده شد که هر دو دارای سطح پروتئین ۲۶ درصد بودند. بر اساس این یافته‌ها، افزایش سطح پروتئین تا حدود ۲۶ می‌تواند زمان نقطه عطف رشد را کاهش دهد. در مورد اثربخشی استفاده از پروتئین‌ها توسط بدن طیور، مطالعات انجام شده نشان داده‌اند که این امر تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند محتوای اسیدهای آمینه و فراهمی زیستی اسیدهای آمینه ارائه شده، وجود برخی عوامل ضدتغذیه‌ای و نسبت آن به سایر مواد مغذی و عوامل محیطی به ویژه دمای محیط، تکنیک تغذیه، سطح مصرف و غیره قرار دارد (Yang et al., 2022; Mengistu & Yami, 2000). هنگامی که پروتئین کافی تأمین شود، نتایج تولیدی طبیعی حاصل می‌شود (Azarnik et al., 2022)، در حالی که سطح پروتئین بسیار پایین یا استفاده از پروتئین‌های با ارزش بیولوژیکی پایین، افزایش رشد و بهبود ضریب تبدیل خوراک و کیفیت لاشه را کاهش می‌دهد و بر سلامت پرند تأثیر منفی می‌گذارد (Wen et al., 2018; De Figueiredo Vasconcellos et al., 2018).

جدول ۵- اثر سطوح مختلف انرژی و پروتئین بر زمان رسیدن به نقطه عطف (t^*) (افزایشی به کاهش) توسط مدل گمپرتز

Table 5- Effect of different energy and protein levels on the time at inflection point (t^*) (Increased to decreased) by the Gompertz model

	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatment ¹					
	1	2	3	4	5	6
سن نقطه عطف (t^*) Time at inflection point	46.31 ^a	37.20 ^{ab}	30.77 ^b	33.71 ^{ab}	35.65 ^{ab}	32.89 ^b
خطای استاندارد میانگین ^۲ SEM ²	3.02	3.49	3.02	3.49	3.49	3.02

^۱. ۱: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین، ۲: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین، ۳: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین، ۴: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین، ۵: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین، ۶: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین

^۲. اشتباه معیار میانگین‌ها (محاسبه شده بر اساس تعداد تکرار هر تیمار و مؤلفه واریانس خطای مدل در نرم افزار SAS)

¹. 1: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 22% protein; 2: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 24% protein; 3: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 26% protein; 4: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 22% protein; 5: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 24% protein; 6: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 26% protein.

². Standard error of means (calculated based on the number of replicates per treatment and the error variance component of the model in SAS software)

اثر جیره های غذایی آزمایشی بر وزن بلدرچین ها در نقطه عطف در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می دهد وزن در نقطه عطف در تیمار ۱ (۲۲ درصد پروتئین و ۲۸۰۰ کیلوکالری انرژی) به طور معنی داری بالاتر از تیمار ۳ (۲۶ درصد پروتئین و ۲۸۰۰ کیلوکالری انرژی) و تیمار ۴ (۲۲ درصد پروتئین و ۲۹۰۰ کیلوکالری انرژی) بوده است، با این حال، همانطور که ذکر شد سن نقطه عطف در تیمار ۱ دیرتر بوده است. این یافته حاکی از آن است که اگرچه وزن در نقطه عطف بالاتر است، اما رشد اولیه و رسیدن به فاز شتابان در این تیمار با تأخیر رخ داده است. محققان محدوده نقطه عطف منحنی رشد از نظر زمان و وزن، برآورده شده توسط مدل گمپرتز برای بلدرچین های ژاپنی تغذیه شده با غلظت های مختلف مواد مغذی را به ترتیب ۱۹/۷-۲۰/۸ روز و ۹۹/۳-۱۰۸/۷ گرم گزارش کرده اند (Ahadi et al., 2016).

یکی از محدودیت های این پژوهش، استفاده از بلدرچین های با جنسیت مخلوط بود. با توجه به اینکه تعیین دقیق جنسیت در ابتدای دوره پرورش امکان پذیر نبود، پرندگان به صورت تصادفی بین تیمارها توزیع شدند. اگرچه این روش احتمال سوگیری ناشی از جنسیت را کاهش می دهد، اما با توجه به تفاوت های رشد بین نر و ماده در سنین بالاتر، پیشنهاد می شود در مطالعات آینده اثر سطوح مختلف انرژی و پروتئین بر پارامترهای رشد به تفکیک جنسیت بررسی شود.

جدول ۶- اثر سطوح مختلف انرژی و پروتئین بر وزن زمان رسیدن به نقطه عطف (W^*) (افزایشی به کاهش) توسط مدل گمپرتز

Table 6- Effect of different energy and protein levels on the weight of inflection point (w^*) (Increased to decreased) by the Gompertz model

	تیمارهای آزمایشی ^۱					
	Experimental treatment ¹					
	1	2	3	4	5	6
وزن نقطه عطف (W^*)	248.15 ^a	168.74 ^{ab}	141.41 ^b	153.09 ^b	175.43 ^{ab}	167.02 ^{ab}
Weight of inflection point						
خطای استاندارد میانگین ^۲	18.86	21.78	18.86	21.78	21.78	18.86
SEM ²						

^۱. ۱: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین، ۲: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین، ۳: جیره غذایی حاوی ۲۸۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین، ۴: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۲ درصد پروتئین، ۵: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۴ درصد پروتئین، ۶: جیره غذایی حاوی ۲۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی و ۲۶ درصد پروتئین

^۲. اشتباه معیار میانگین ها (محاسبه شده بر اساس تعداد تکرار هر تیمار و مؤلفه واریانس خطای مدل در نرم افزار SAS)

¹. 1: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 22% protein; 2: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 24% protein; 3: Diet containing 2800 kcal/kg of energy and 26% protein; 4: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 22% protein; 5: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 24% protein; 6: Diet containing 2900 kcal/kg of energy and 26% protein.

². Standard error of means (calculated based on the number of replicates per treatment and the error variance component of the model in SAS software)

نتیجه گیری

بر اساس برآزش مدل گمپرتز، نسبت انرژی به پروتئین جیره نقش مهمی در الگوی رشد بلدرچین ها داشت. تیمار ۱ با نسبت انرژی به پروتئین ۱۲۷/۳، بیشترین وزن نهایی (۶۷۴/۵۴ گرم)، وزن در نقطه عطف (۲۴۸/۱۵ گرم) و بیشترین سن نقطه عطف (۴۶/۳۱ روز) را نشان داد. در مقابل، تیمارهای ۳ (۷/۱۰۷) و ۴ (۸/۱۳۱) کمترین وزن نهایی و وزن در نقطه عطف را داشتند

که حاکی از کاهش ظرفیت رشد است. تیمار ۶ با نسبت انرژی به پروتئین ۱۱۱/۵ با وجود عدم اختلاف معنی‌دار در وزن نهایی و وزن در نقطه عطف با تیمار ۱، اما سن نقطه عطف آن (۸۹/۳۲ روز) کمتر از تیمار ۱ بود که نشان می‌دهد حداکثر سرعت رشد را در سن پایین‌تری تجربه کرده است. با در نظر گرفتن هم‌زمان وزن نهایی، وزن نقطه عطف و سن نقطه عطف، نسبت انرژی به پروتئین در محدوده ۱۱۱/۵ تا ۱۲۷/۳ را می‌توان به‌عنوان محدوده مناسب برای دستیابی به عملکرد مطلوب رشد در بلدرچین‌ها معرفی کرد.

منابع

- Afrouziyeh, M., Kwakkel, R.P. & Zuidhof, M.J. (2021). Improving a nonlinear Gompertz growth model using bird-specific random coefficients in two heritage chicken lines. *Poultry Science*, 100(5). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101059>
- Ahmadi, H. & Golian, H. (2008). Non-linear Hyperblastic functions for describing growth curve in classical strain of broiler chicken. *Research Journal of Biological Science*, 3, 1300-1304.
- Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Ashour, E. A., Salah, A. S., Hussein, E. S. O., Al Alowaimer, A., Swelum, A. A. & Dhama, K. (2019). Raw faba bean (*Vicia faba*) as an alternative protein source in laying hen diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(4), 808-817. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz037>
- Alagawany, M., Ashour, E. A., El-Kholi, M. S., Abou-Kassem, D. E., Roshdy, T. & Abd El-Hack, M. E. (2022). Consequences of varying dietary crude protein and metabolizable energy levels on growth performance, carcass characteristics and biochemical parameters of growing geese. *Animal Biotechnology*, 33(4), 638-646. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1814791>
- Ashour, E. A., Alabdali, A. Y. M., Aldhalmi, A. K., Taha, A. E., Swelum, A. A. & Abd El-Hack, M. E. (2022). Impacts of varying dietary energy and crude protein levels on growth, carcass traits and digestibility coefficients of growing Japanese quail (*Coturnix Coturnix Japonica*) during the summer season. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 1402-1410. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2022.2118625>
- Ashour, E. A., Kamal, M., Altaie, H. A. A., Swelum, A. A., Suliman, G. M., Tellez-Isaias, G. & Abd El-Hack, M.E. (2024). Effect of different energy, protein levels and their interaction on productive performance, egg quality, digestibility coefficient of laying Japanese quails. *Poultry Science*, 103(1). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103170>
- Azarnik, A., Bojarpour, M., Eslami, M., Ghorbani, M. R. & Mirzadeh, K. (2010). The Effect of Different Levels of Diet Protein on Broilers Performance in Ad libitum and Feed Restriction Methods. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9, 631-634. <https://doi.org/10.3923/javaa.2010.631.634>
- De Figueiredo Vasconcellos, C. H., Fontes, D., Batista Vidal, T. Z., Camargos Lara, L. J., Rodrigues, P. B. & Costa Vasconcelos, R. J. (2010). Effect of different crude protein levels on performance and carcass composition of male broiler chickens from 21 to 42 days of age. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(4), 1039-1048.
- Ebrahimi, K., Dashab, G. R., Faraji-Arough, H. & Rokouei, M. (2018). Growth Curves Fitting in Japanese Quail Di-Allele Crosses and Comparison of Growth Patterns of Crossbreds. *Research on Animal Production*, 9(20). (In Persian)

- El-hindawy, M., Alagawany, M., Mohamed, L., Soomro, J. & Ayasan, T. (2021). Influence of dietary protein levels and some cold pressed oil supplementations on productive and reproductive performance and egg quality of laying Japanese quail. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 72(3), 3185–3194. <https://doi.org/10.12681/jhvms.28513>
- Faraji-Arough, H., Rokouei, M., Maghsoudi, A., and Ghazaghi, M. (2018). Comparative study of growth patterns in seven strains of Japanese quail using nonlinear regression modeling. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 42, 441-451.
- Goliomytis, M., Panopoulou, E. & Rogdakis, E. (2003). Growth curves for body weight and major component parts, feed consumption, and mortality of male broiler chickens raised to maturity. *Poultry Science*, 82(7), 1061-1068. <https://doi.org/10.1093/ps/82.7.1061>
- Heijmans, J., Duijster, M., Gerrits, W. J. J., Kemp, B., Kwakkel, R. P. & van den Brand, H. (2021). Impact of growth curve and dietary energy-to-protein ratio on productive performance of broiler breeders. *Poultry Science*, 100(7), 101131. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101131>
- Hyankova, L., Knizetova, H., Dedkova, L., and Hort, J. (2001). Divergent selection for shape of growth curve in Japanese quail. 1. Responses in growth parameters and food conversion. *British Poultry Science*, 42, 583-589.
- Jahan, M., Maghsoudi, A., Rokouei, M. & Faraji-Arough, H. (2024). Comparing some mathematical functions to describe growth pattern in quail. *Iranian Journal of Animal Science*, 55 (2), 301-314. <https://doi.org/10.22059/ijas.2023.327800.653838> (In Persian)
- Kaur, S., Mandal, A., Singh, K. & Kadam, M. (2008). The response of Japanese quails (heavy body weight line) to dietary energy levels and graded essential amino acid levels on growth performance and immuno-competence. *Livestock Science*, 117(2-3), 255-262. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.12.019>
- Mengistu, A. & Yami, A. (2000). Response of different dietary energy and protein combinations on growth performance of broiler starters. *Journal of Applied Animal Research*, 18, 209–214. <https://doi.org/10.1080/09712119.2000.9706345>
- Mirderikvandi, M., Mahmoudi, M., Farhoomand, P., Masoudi, A. & Omid, M. (2022). Evaluation of Growth Parameters of Broiler Chickens Fed with Different Dietary Levels of Hemp Seed (*Cannabis sativa* L.) using Gompertz Model Compare with Artificial Neural Network. *Research on Animal Production*, 13(35), 19-27. (In Persian)
- Mirzadeh, K. h., kazemizadeh, A. & Ansari Pirsaraei, Z. (2022). The effect of kefir and peppermint extract (*Mentha piperita*) extract in drinking water on performance, lipid profiles, thyroid hormones and testosterone hormone of Japanese quail. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 14(1), 83-95. (In Persian)
- Nikkhah, M., MotaghiTalab, M. & Zavareh, M. (2008). Hyperbolic vs. Classic Model to Estimate Male Broiler Chicken Growth. *Iranian Journal of Animal Sciences*, 40(4). (In Persian)
- NRC (National Research Council). (1994). Nutrient requirements of poultry. National Academy Press, Washington D.C. 9th revised edition pp: 155.
- Rizzi, C., Contiero, B. & Cassandro, M. (2013). Growth patterns of Italian local chicken populations. *Poultry Science*, 92(8), 2226-2235. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02825>

- Roush, W. B. & Branton, S. L. (2005). A comparison of fitting growth models with a genetic algorithm and nonlinear regression. *Poultry Science*, 84(3), 494-502. <https://doi.org/10.1093/ps/84.3.494>
- SAS Institute Inc. 2003. SAS/STAT User's Guide Version 9. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sengul, T., and Kiraz, S. (2005). Non-linear models for growth curves in large white turkeys. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 29, 331-337.
- Simianer, H., and Sorensen, P. (2016). ICQG 5 on Madison's Isthmus links genomics and statistics of complex traits. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 133, 249-250.
- Uni, Z. & Ferket, R. P. (2004). Methods for early nutrition and their potential. *World's Poultry Science Journal*, 60(1), 101–111. <https://doi.org/10.1079/WPS20038>
- Vieira, D. V. G., Ribeiro, J. L., Silva, J. L. R. da, Pagliarim, W., Conti, A. C. M., Falcão, A. J. da S., Bourdon, V. de D. S., Lima, A. V. de, Lima, M. R. de, Ribeiro, A. G., Guerra, R. R., Cavalcante, D. T., Carvalho, L. R. R. A., & Costa, F. G. P. (2026). Nonlinear growth and body nutrient deposition models in Japanese quail (*Coturnix japonica*) from 1–36 d. *Poultry Science*, 105(4), 106555. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2026.106555>
- Wen, C., Yan, W., Zheng, J., Ji, C., Zhang, D., Sun, C. & Yang, N. (2018). Feed efficiency measures and their relationships with production and meat quality traits in slower growing broilers. *Poultry Science*, 97(7), 2356–2364. <https://doi.org/10.3382/ps/pey062>
- Yang, M., Chen, R., Song, Y. D., Zhou, Y. M., Liu, Q. & Zhuang, S. (2022). Effects of dietary betaine supplementation on growth performance, meat quality, muscle fatty acid composition and antioxidant ability in slow-growing broiler chickens. *British Poultry Science*, 63, 351–359. <https://doi.org/10.1080/00071668.2021.2008313>
- Yazarloo, M., Sharifi, S. D., Shariatmadari, F., Salehi, A. & Malaki. M. (2016). The Effect of Different Levels of Dietary Metabolizable Energy and Crude Protein on Performance and Nitrogen and Energy Metabolism in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Journal of Animal Production*, 19(1). (In Persian)
- Yu, Y., Ai, C., Luo, C. & Yuan, J. (2024). Effect of Dietary Crude Protein and Apparent Metabolizable Energy Levels on Growth Performance, Nitrogen Utilization, Serum Parameter, Protein Synthesis, and Amino Acid Metabolism of 1- to 10-Day-Old Male Broilers. *International Journal of Molecular Sciences*, 6;25(13), 7431. <https://doi.org/10.3390/ijms25137431>
- Zhang, Y., Lu, R., Qin, C. & Nie, G. (2020). Precision nutritional regulation and aquaculture. *Aquaculture Reports*, 18, 100496. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100496>