



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

The investigation of the growth curve of pearl grey guinea fowl with different non-linear models

H. Faraji-Arough^{1*}, G. R. Dashab², M. Rokouei²

1. Department of Ostrich, Special Domestic Animals Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran

2. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

(Received: 22-05-2025 – Revised: 01-07-2025 – Accepted: 01-07-2025 – Available online: 08-07-2025)

Abstract

Introduction: In low-income and marginalized rural communities, poultry species play a vital role as sources of animal protein and household income. The guinea fowl, belonging to the *Galliformes* order and the *Numididae* family, is particularly important in these communities. Understanding the growth characteristics and patterns of guinea fowl can be crucial in successfully raising them as a profitable enterprise. This knowledge can help in developing appropriate nutritional and feeding regimens to optimize feed usage and increase profitability. Growth is a complex process that involves physiological and morphological changes from hatching to maturity. It is defined as the increase in body weight and organ size over time and age. This growth can be described using mathematical non-linear models that capture biologically significant parameters. Since growth patterns vary significantly between species and genotypes, it is important to analyze growth for each specific species. While various models have been introduced in different studies to describe the growth curve of different species, research on the growth pattern of guinea fowl is limited. Therefore, this study aimed to evaluate different non-linear models to determine the most suitable model for describing the growth pattern in both male and female pearl grey guinea fowls.

Materials and methods: The present study was conducted on pearl grey guinea fowls raised at the Special Domestic Animals Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran. A total of 129 one-day-old keets (70 males and 59 females) were obtained from the hatchery and then identified by wing-banded numbers. All keets were individually weighed every week until 28 days of age and then every two weeks until 168 days of age using a sensitive digital electronic weighing scale. After data editing, Gompertz, Richards, Logistic, Weibull, and Lopez models were fitted to describe the growth curve of female and male keets. Four goodness of fit criteria, including mean square error (MSE), Akaike information criterion (AIC), Bayesian information criterion (BIC), and adjusted determination coefficient (R^2_{Adj}) were used to compare the studied models and select the best model to describe the growth pattern in both sexes. All models were fitted to the body weight of male and female keets using the *nlme* package of R software, and model parameters were obtained for both sexes.

Results and discussion: Male keets had higher body weight than female keets at all ages. The difference in body weight between the two sexes was not significant until the eighth week ($P < 0.05$), but from 10 to 20 weeks of age, a significant difference was observed ($P < 0.05$). The highest and lowest values for the initial and final weight parameters were related to the logistic model in both sexes. Male keets had a higher maturing index (k), shape parameter (m), age and weight at the inflection point, and absolute growth rate at 1, 12, and 24 weeks of age compared to female keets. Based on goodness-of-fit criteria, the Lopez model was found to be the best model among those studied to describe the growth pattern in male and female keets. When comparing actual body weight with predicted values from the studied models, the Lopez model closely matched the actual values at most ages,

* Corresponding author: Hadifaraji@uoz.ac.ir



indicating that the Lopez model provided a more accurate prediction of body weight in both male and female keets compared to other models.

Conclusions: Based on the findings of the present study, the Lopez model was determined to be the best model in describing the growth pattern in female and male keets. Understanding the growth pattern in both sexes can assist in developing nutritional programs to meet nutritional needs at various ages. Overall, additional research is needed to investigate the model parameters and explore the potential of incorporating them into selection programs to attain the desired growth curve.

Keywords: Poultry, Non-linear model, Growth rate, Inflection point, Body weight

Ethics statement: This study was conducted with the full consideration of animal welfare and the approval of this study was granted by the Ethics Committee of Special Domestic Animals Institute, Research Institute of Zabol, Iran.

Data availability statement: The data that support the findings of this study are available on request from the corresponding author.

Conflicts of interest: The authors declare no conflicts of interest.

Funding: The project is financially supported by the Zabol Research Institute through project code: PR-RIZ-1403-6933-1.

Acknowledgment: The authors thank the Research Institute of Zabol for supporting this project.

How to cite this article:

Faraji-Arough, H., Dashab, G. R., & Rokouei, M. (2025). The investigation of the growth curve of pearl grey guinea fowl with different non-linear models. *Animal Production Research*, 14(3), 33-48. doi: 10.22124/ar.2025.30744.1899



مقاله پژوهشی

بررسی منحنی رشد مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی با مدل‌های مختلف غیرخطی

هادی فرجی آروق^{۱*}، غلامرضا داشاب^۲، محمد رکوعی^۲

۱- گروه پژوهشی شترمرغ، پژوهشکده دام‌های خاص، پژوهشگاه زابل

۲- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰ - تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷)

چکیده

رشد حیوان، یک فرآیند پیچیده و پویایی است که در برگرفته تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بوده و می‌تواند به‌وسیله مدل‌های غیرخطی رشد توصیف شود. پژوهش کنونی با هدف تعیین مناسب‌ترین مدل رشد غیرخطی جهت توضیح تغییرات وزن بدن مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی در طول زمان انجام شد. بدین منظور از داده‌های وزن بدن ۱۲۹ جوجه مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی (۷۰ نر و ۵۹ ماده) استفاده شد که از سن یک‌روزگی تا ۱۶۸ روزگی به‌صورت انفرادی رکوردبرداری شده بودند. پنج مدل غیرخطی گمپرتز، ریچاردز، لجستیک، ویبول و لوپز بر داده‌های وزن بدن برازش شدند و بر اساس چهار معیار نکویی برازش معیار اطلاعات بیزی، معیار اطلاعات آکائیک، میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین تصحیح شده ارزیابی شدند. بعد از برازش مدل‌ها، بر اساس فراسنجه‌های برآورد شده، سن و وزن در نقطه عطف و نرخ رشد مطلق در هفته‌های ۱، ۱۲ و ۲۴ در دو جنس نر و ماده محاسبه شدند. بر پایه چهار معیار نکویی برازش، مدل لوپز مناسب‌ترین مدل در توصیف منحنی رشد در جوجه‌های نر و ماده بود. در هر دو جنس، مدل لجستیک وزن ابتدایی را بالاتر و وزن نهایی را پایین‌تر از حد برآورد نمود. بالاترین مقدار فراسنجه‌ها، به‌استثنای وزن ابتدایی در جوجه‌های نر و ماده، به‌وسیله مدل لوپز به‌دست آمد. جوجه‌های نر، سن و وزن بالاتری در نقطه عطف نسبت به جوجه‌های ماده داشتند. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده وزن بدن به‌وسیله مدل‌های رشد با مقدار واقعی آن نشان داد که مدل لوپز پیش‌بینی صحیح‌تری از وزن بدن در دو جنس نر و ماده در مقایسه با مدل‌های دیگر داشت. با توجه به نتایج پژوهش کنونی می‌توان از مدل رشد لوپز برای مطالعه منحنی رشد در مرغ شاخدار مرواریدی به‌منظور مدیریت تغذیه‌ای و برنامه‌های اصلاح نژادی جهت تغییر منحنی رشد با صحت بالا استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: طیور، مدل غیرخطی، نرخ رشد، نقطه عطف، وزن بدن

* نویسنده مسئول: Hadifaraji@uoz.ac.ir

مقدمه

گونه‌های طیور به‌عنوان منابع مهم پروتئین حیوانی و درآمد خانوار، به‌ویژه برای جوامع روستایی کم درآمد و حاشیه‌نشین، محسوب می‌شوند (Mushi et al., 2020). مرغ شاخدار متعلق به راسته Galliform و خانواده Numididae است. این پرندگان، بومی جنگل‌های استوایی در آفریقای شمالی هستند و اعتقاد بر این است که از سواحل گینه در غرب آفریقا سرچشمه گرفته‌اند (Murunga et al., 2018). پرورش مرغ شاخدار به‌صورت یک محصول سودآور نیازمند درک خصوصیات و الگوی رشد آنها است. آگاهی از الگوی رشد، امکان طراحی رژیم تغذیه‌ای جهت استفاده مؤثر از خوراک و سودآوری را فراهم می‌کند (Nahashon et al., 2006b). بزرگترین چالش در پرورش مرغ شاخدار، ایجاد رژیم تغذیه‌ای مناسب برای آنها و طراحی روش‌های خوراک‌دهی است که رشد را به بیشترین میزان رسانده و هزینه تولید را کاهش دهد (Nahashon et al., 2006b). رشد حیوان، یک فرآیند پیچیده فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی از زمان تفریخ تا بلوغ است و به‌صورت افزایش در وزن بدن و اندازه اندام‌ها در واحد زمان و سن تعریف می‌شود (Yang et al., 2006; Kaplan & Gurcan, 2018). رشد، یک عملکرد مستمر در طول زندگی حیوان از مراحل جنینی تا سن بلوغ است و از لحاظ ریاضی با مدل‌های منحنی رشد توضیح داده می‌شود. منحنی رشد برای طیور عموماً دارای ویژگی‌های زیر است: مرحله افزایشی رشد از تفریخ تا نقطه عطف، نقطه عطف در منحنی رشد که نرخ رشد حداکثر است و مرحله کاهشی که نرخ رشد تا یک مقدار محدود وزن بلوغ کاهشی است (Ridho et al., 2021). رشد حیوان با استفاده از توابع ریاضی و منحنی‌های رشد به‌صورت فراسنجه‌های قابل توصیف از نظر زیستی خلاصه می‌شوند (Aggrey, 2002; Yang et al., 2006). مدل‌های رشد، مدل‌های رگرسیون غیرخطی هستند که وزن بدن را در مراحل مختلف زندگی پیش‌بینی می‌کند (Lee et al., 2021; Bitaraf Sani et al., 2020). از مدل‌های ریاضی رشد می‌توان برای پیش‌بینی نیازمندی‌های روزانه انرژی، پروتئین، مواد معدنی، سن بلوغ و سن مناسب کشتار استفاده کرد (Darmani-Kuhi et al., 2010; Kebreab et al., 2018; Kaplan & Gurcan, 2011; al., 2011). امروزه، منحنی

رشد دارای کاربردهای مختلفی است و می‌تواند در بهینه‌سازی عملکرد مدیریتی، ارزیابی نیازمندی‌های تغذیه‌ای و برنامه‌های اصلاح نژادی مورد استفاده قرار گیرد (Aggrey, 2002).

درک معانی زیستی فراسنجه‌های منحنی رشد و ارتباط آنها با سایر صفات مهم اقتصادی ممکن است راه را برای کارشناسان جهت استفاده از این اطلاعات در برنامه‌های اصلاح نژادی فراهم کند (Segura-Correa et al., 2017). فراسنجه‌های منحنی رشد، یک مبنای بالقوه برای انتخاب جهت تغییر رابطه سن و وزن بدن فراهم می‌کنند (Barrera-Rivera et al., 2024). منحنی رشد مطلوب را می‌توان با انتخاب فراسنجه‌های منحنی رشد با مقادیر مناسب به‌دست آورد (Bathaei & Leroy 1998; Purwin et al. 2024). پتانسیل تغییر شکل منحنی رشد از راه اصلاح نژاد یا انتخاب ژنتیکی ممکن است مورد توجه تولیدکنندگان حیوانات مزرعه باشد (Ghavi Hossein-Zadeh, 2025a). انتخاب مستقیم در سطح منحنی رشد برای هر یک از حیوانات ممکن است در صورتی امکان‌پذیر باشد که مدل ریاضی مناسب برای نشان دادن منحنی رشد انتخاب شود (Ghavi Hossein-Zadeh, 2024; Barrera-Rivera et al., 2024).

در تحقیقات مختلفی، ارزیابی الگوی رشد با مدل‌های مختلف غیرخطی در گونه‌های مختلف طیور از جمله جوجه گوشتی (Safari et al., 2021; Şengül et al., 2024)، جوجه‌های محلی ایران و مکزیک (Faraji-Arough et al., 2020; Mata-Estrada et al., 2019)، بلدرچین (Jahan et al., 2019a; Darmani Kuhi et al., 2024; al., 2019b)، اردک (Ersoy et al. 2006; Darmani Kuhi et al., 2019b)، (Susanti & Purba, 2018; Ghavi Hossein-Zadeh, 2024a, 2025a)، کبک (Ghavi Hossein-Zadeh, 2025b)، شترمرغ (Ramos et al., 2013; Ghavi Hossein-Zadeh, 2024b)، کبوتر (Gao et al., 2016) و غاز (Onder et al., 2021; Hrncar et al., 2017) گزارش شده است. ویژگی‌های رشد در مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی به‌وسیله سه مدل گمپرتز، ریچاردز و لجستیک مورد مطالعه قرار گرفته است و فراسنجه وزن بلوغ در ماده‌ها بالاتر از وزن بلوغ نرها گزارش شد (Nahashon et al., 2006b). در تحقیق دیگر، دو مدل رشد گمپرتز و لجستیک روی رکوردهای وزن بدن مرغ شاخدار فرانسوی برازش شده و مدل گمپرتز به‌عنوان

مدل مناسب جهت توصیف الگوی رشد مرغ شاخدار فرانسه معرفی شد (Nahashon et al., 2006a).

از آنجایی که فرآیند رشد به طور معنی داری از یک گونه به گونه دیگر متفاوت است و نیاز به تجزیه و تحلیل مجزا در هر گونه و ژنوتیپ دارد، مدل سازی رشد، اطلاعات مهمی درباره آثار اصلاح ژنتیکی، سن مطلوب کشتار و شرایط مدیریتی و سلامتی گله فراهم می کند. با توجه به اینکه در مطالعات مختلف، مدل های مختلفی به عنوان مدل مناسب برای توصیف منحنی رشد هر گونه معرفی شده است و نظر به مطالعات محدود در مورد انتخاب مدل غیرخطی مناسب برای الگوی رشد مرغ شاخدار، این تحقیق با هدف ارزیابی مدل های مختلف غیرخطی جهت تعیین مدل مناسب برای مطالعه الگوی رشد در دو جنس نر و ماده مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی در شرایط استان سیستان و بلوچستان انجام شد.

مواد و روش ها

تحقیق حاضر روی جوجه های مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی موجود در پژوهشکده دام های خاص زابل انجام شد. بدین منظور، تخم های گذاشته شده به وسیله گله مولد به مدت چند روز جمع آوری و پس از ضد عفونی در اتاق نگهداری تخم در دمای ۱۲ تا ۱۸ درجه سلسیوس نگهداری شدند. تخم ها برای مدت ۲۳ روز در دستگاه ستر و روز ۲۴ به دستگاه هچر انتقال داده شدند. پس از خروج جوجه ها از تخم، جهت شناسایی جوجه ها از شماره بال استفاده شد. سپس، وزن یک روزگی جوجه ها به صورت انفرادی با دقت ۰/۰۱ گرم ثبت شده و پس از وزن کشی به اتاق مخصوص جوجه ها با دمای ۳۲/۲ درجه سلسیوس منتقل شدند. دمای اتاق پرورش جوجه بعد از هفته اول به طور تدریجی به میزان ۲/۸ درجه سلسیوس در هر هفته کاهش داده شده تا به دمای ۲۳/۹ درجه سلسیوس برسد. بعد از هفته پنجم، دمای اتاق پرورش در ۲۱/۱ درجه سلسیوس ثابت نگه داشته شد. طول دوره روشنایی در کل دوره، ۲۳ ساعت مدنظر قرار گرفت. تعذیه جوجه ها با جیره هایی بر پایه ذرت-سویا بود که حاوی ۲۴ درصد پروتئین و ۳۰۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی قابل سوخت و ساز از هج تا ۳ هفته، ۲۳ درصد پروتئین و ۳۱۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی قابل سوخت و ساز از ۴ تا ۸ هفته، ۲۰ درصد پروتئین و ۳۱۵۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی قابل سوخت و ساز از ۹ تا ۱۶

هفتگی و ۱۸ درصد پروتئین و ۳۲۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی قابل سوخت و ساز از ۱۷ تا ۲۶ هفته بودند و همراه آب به صورت آزاد در اختیار جوجه ها قرار گرفت.

وزن کشی انفرادی جوجه ها از یک تا ۲۸ روزگی به صورت هفتگی و سپس تا سن ۱۶۸ روزگی به صورت دو هفته در میان با استفاده از ترازوی دیجیتالی حساس انجام گرفت. تعدادی از جوجه ها که در طول آزمایش تلف شدند، از داده های تحقیق کنار گذاشته شدند. بعد از کنار گذاشتن داده های وزن بدن جوجه هایی که در اوایل دوره آزمایش تلف شدند، در مجموع از اطلاعات وزن بدن ۱۲۹ جوجه (۷۰ نر و ۵۹ ماده) برای تجزیه و تحلیل الگوی رشد استفاده شد. پنج مدل غیرخطی گمپرتز، ریچاردز، لویز، لجستیک و ویبول جهت توصیف منحنی رشد روی داده های وزن بدن در دو جنس نر و ماده برازش شدند. معادله مدل های مورد استفاده به همراه فرمول مورد استفاده برای محاسبه سن و وزن در نقطه عطف آنها در جدول ۱ ارائه شده است. در مدل های رشد، W وزن بدن پرنده در سن W_f, W_0, t, k و به ترتیب وزن ابتدایی، وزن نهایی (وزن بلوغ) و ضریب رشد نسبی یا شاخص بلوغ هستند. فراسنجه های m و b به ترتیب فراسنجه شکل و سن پرنده هنگامی که پرنده نصف میزان بیشترین وزن بدن را دارد، نشان می دهند.

بعد از برازش مدل ها، چهار معیار نکویی برازش میانگین مربعات خطا (MSE)، معیار اطلاعات آکائیک (AIC)، معیار اطلاعات بیزی (BIC) و ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{Adj}) برای مقایسه مدل های مورد مطالعه و انتخاب مناسب ترین مدل برای توصیف الگوی رشد در جوجه های نر و ماده مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی استفاده شدند. فرمول ریاضی معیارهای نکویی برازش استفاده شده به شرح زیر است:

$$R^2_{Adj} = 1 - \left[\left(\frac{n-1}{n-k} \right) \times (1 - R^2_{model}) \right]$$

$$MSE = \frac{SSE}{n-p}$$

$$AIC = n \times \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + 2k$$

$$BIC = n \times \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + k \times \ln(n)$$

در معادلات بالا، n و k به ترتیب تعداد مشاهدات و فراسنجه های مدل را نشان می دهند. R^2_{model} ضریب تبیین است که به صورت $1 - (SSE/SST)$ محاسبه می شود که SSE مجموع مربعات خطا و SST مجموع مربعات کل هستند.

جدول ۱- معادلات توصیف‌کننده مدل‌ها، سن و وزن در نقطه عطف در مدل‌های غیرخطی

Table 1. Equations describing models, age, and weight at the inflection for non-linear models

Model	Equation	Age at the inflection point (t_i)	Weight at the inflection point (w_i)	Reference
Gompertz	$W = W_0 \exp \left\{ [1 - \exp(-kt)] \ln \left(\frac{W_f}{W_0} \right) \right\}$	$\frac{1}{k} \left[\ln \left(\ln \left(\frac{W_f}{W_0} \right) \right) \right]$	$\frac{W_f}{e}$	Gompertz (1825)
Logistic	$W = \frac{W_0 W_f}{[W_0 + (W_f - W_0) \exp(-kt)]}$	$\frac{1}{k} \ln \left(\frac{W_f - W_0}{W_0} \right)$	$\frac{W_f}{2}$	Robertson (1908)
Richards	$W = \frac{W_0 W_f}{[W_0^m + (W_f^m - W_0^m) e^{-kt}]^{1/m}}$	$\frac{1}{k} \times \ln \left(\frac{m}{(W_f^m - W_0^m)/W_0^m} \right)$	$\frac{W_f}{\sqrt[m]{m+1}}$	Richards (1959)
Lopez	$W = \frac{(W_0 \times b^k) + (W_f \times t^k)}{(b^k + t^k)}$	$b \left(\frac{k-1}{k+1} \right)^{1/2}$	$\frac{\left[\left(1 + \frac{1}{k} \right) W_0 + \left(1 - \frac{1}{k} \right) W_f \right]}{2}$	Lopez et al. (2000)
Weibull	$W = W_f - (W_f - W_0) \exp[-(kt)^m]$	$\frac{1}{k} \left(\left(\frac{m-1}{m} \right)^{1/m} \right)$	$W_f - (W_f - W_0) \exp \left(-\frac{m-1}{m} \right)$	Weibull (1951)

W_0 (g), W_f (g), k (g per d), m , and b (d) are initial weight, final (mature weight) weight, coefficient of relative growth or maturing index, the shape parameter, and the age at approximately half maximum body weight, respectively.

نسبت به جوجه‌های ماده داشتند. تفاوت وزن بدن بین جوجه‌های نر و ماده با افزایش سن تا ۲۰ هفتگی، روند افزایشی داشت. تفاوت وزن بدن بین جوجه‌های نر و ماده تا هفته هشتم معنی‌دار نبود ($P>0.05$)، اما از هفته ۱۰ تا ۲۰، تفاوت‌ها در وزن بدن بین دو جنس معنی‌دار بود ($P<0.05$). با وجود بالا بودن وزن بدن در هفته ۲۲ و ۲۴ برای جوجه‌های نر، تفاوت بین دو جنس، اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($P>0.05$) و میانگین وزن بدن در هفته ۲۴ در نرها و ماده‌ها به هم نزدیک شدند. این امر می‌تواند به دلیل سپری شدن دوره رشد در دو جنس و رشد دستگاه تولیدمثلی در جنس ماده باشد که سبب جبران کمبود رشد در ماده‌ها و کاهش تفاوت میانگین وزن بدن در دو جنس می‌شود.

تمامی مدل‌ها روی وزن بدن جوجه‌های نر و ماده با استفاده از بسته nlme (Pinheiro et al., 2014) نرم‌افزار R برازش شده و فراسنجه‌های مدل‌های برای دو جنس به دست آمد. با استفاده از فراسنجه‌های به دست آمده برای هر مدل، سن و وزن در نقطه عطف و نرخ رشد مطلق در هفته اول، ۱۲ و ۲۴ هفتگی برآورد شدند. همچنین، پس از برازش مدل‌ها، مقادیر وزن بدن برای سنین مختلف به وسیله مدل‌ها پیش‌بینی شده و منحنی مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر مشاهده شده در طول ۲۴ هفته مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

آمار توصیفی صفات وزن بدن در سنین مختلف برای دو جنس نر و ماده مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی در جدول ۲ ارائه شده است. جوجه‌های نر در همه سنین، وزن بالاتری

جدول ۲- آمار توصیفی صفات وزن بدن در سنین مختلف مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی

Table 2. Descriptive statistics of body weight traits in different ages of pearl grey Guinea fowl

Age (wk)	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
Male (n=70)				
0**	27.29	3.64	21.80	33.50
1	49.25	5.45	33.90	63.70
2	79.40	8.86	63.00	105.40
3	125.50	11.31	93.40	153.30
4	180.89	16.21	134.80	223.20
6	300.16	25.27	219.00	383.00
8	523.31	34.55	425.00	595.00
10	676.80*	42.91	544.00	790.44
12	810.69*	56.57	641.44	954.70
14	923.43*	65.49	423.30	1087.50
16	1019.48*	72.99	803.80	1183.70
18	1055.08*	71.90	785.70	1201.50
20	1110.87*	73.77	883.90	1361.40
22	1161.07	75.57	907.40	1327.80
24	1200.23	86.40	954.00	1523.20
Female (n=59)				
0	26.27	3.70	20.10	33.80
1	47.93	4.37	40.10	59.32
2	77.18	9.76	43.80	97.80
3	123.73	11.32	103.20	157.30
4	180.03	13.69	143.70	241.20
6	297.56	19.27	263.00	354.00
8	517.06	35.44	411.40	591.00
10	656.62	47.25	487.54	725.33
12	787.65	63.39	533.64	905.54
14	897.90	78.20	563.20	1043.90
16	985.24	85.45	575.40	1123.80
18	1020.28	89.36	583.90	1135.70
20	1081.53	90.37	600.00	1223.80
22	1144.86	68.34	953.00	1321.90
24	1199.06	76.73	983.70	1403.20

* The mean body weight is significantly different between males and females ($P<0.05$).

** Week 0 is the first day of birth

با مطالعه وزن بدن مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی گزارش شد که وزن بدن جوجه‌های نر نسبت به جوجه‌های ماده، تفاوت معنی‌دار نداشت (Nahashon et al., 2006b). همچنین، در ارزیابی اثر وارسته و جنس بر وزن بدن در ۱۶ هفتگی مرغ شاخدار، اثر جنس بر وزن بدن در این سن معنی‌دار نبود (Śmiecińska et al., 2022). در برخی از گونه‌های پرندگان، اثر جنس بر وزن بدن مرغ بومی (Faraji-Arough et al., 2019; Mata-Estrada et al., 2020; Nguyen Hong et al., 2021) و غاز (Onder et al., 2017) معنی‌دار گزارش شده است. در تمامی این گزارش‌ها، جوجه‌های نر دارای وزن بدن بالاتری نسبت به جوجه‌های ماده بودند که مطابق با اثر معنی‌دار جنس بر وزن بدن در سنین ۱۰ تا ۲۰ هفتگی در تحقیق حاضر است. همچنین، در تحقیقاتی که روی جوجه‌های مرغ بومی با رشد متوسط (Michalczuk et al., 2016) و جوجه‌های با رشد پایین (Eleroğlu et al., 2014) نیز انجام شده است، وزن جوجه‌های نر به‌طور معنی‌داری بالاتر از جوجه‌های ماده گزارش شده است.

فراسنجه‌های مدل‌های برازش شده برای جوجه‌های نر و ماده در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود فراسنجه‌های برآورده شده به‌وسیله مدل‌های مختلف رشد در دو جنس متفاوت بود. بالاترین مقدار برآورد شده برای فراسنجه وزن اولیه (W_0) در دو جنس مربوط به مدل لجستیک بود در حالی که پایین‌ترین مقدار برای این فراسنجه برای نرها و ماده‌ها به‌ترتیب با استفاده از مدل‌های گمپرتز و ریچاردز برآورد شدند. با وجود اینکه

مقدار فراسنجه وزن اولیه (W_0) در مدل لجستیک بالاتر از همه مدل‌های مورد مطالعه بود، اما مقدار فراسنجه وزن نهایی (W_f) برآورد شده برای جوجه‌های نر و ماده به‌وسیله مدل لجستیک پایین‌تر از سایر مدل‌ها بود. بالاترین مقدار فراسنجه شاخص بلوغ (k) در هر دو جنس متعلق به مدل لوپز بود. همچنین، مقدار فراسنجه k در جوجه‌های نر بالاتر از ماده‌ها پیش‌بینی شد. در تمامی مدل‌ها به‌استثنای مدل‌های لوپز و ویبول، رابطه معکوسی بین فراسنجه‌های شاخص بلوغ (k) و وزن نهایی (W_f) در جوجه‌های نر و ماده مشاهده شد. به عبارت دیگر، مقدار فراسنجه وزن نهایی در مدل‌هایی که دارای شاخص بلوغ بالاتری هستند، پایین‌تر بود. مشابه فراسنجه k ، مقدار برآورد شده برای فراسنجه شکل (m) به‌وسیله مدل‌های ریچاردز و ویبول برای جنس نر بالاتر از جنس ماده بود در حالی که مقدار فراسنجه b در جوجه‌های ماده به‌وسیله مدل لوپز بالاتر از جوجه‌های نر بود.

فراسنجه‌های رشد، اطلاعات مفیدی در مورد نرخ رشد، سن و وزن در هنگام حداکثر رشد و وزن بلوغ پرند ارائه می‌دهند (Narinc et al., 2017) که می‌تواند برای بهبود ژنتیکی گونه‌های کمتر مطالعه شده مانند مرغ شاخدار مورد استفاده قرار گیرند. در یک تحقیق روی منحنی رشد در غاز محلی ترکیه، مدل لجستیک دارای پایین‌ترین مقدار وزن نهایی و بالاترین مقدار نرخ رشد برای هر دو جنس نر و ماده بود (Onder et al., 2017)، که مشابه یافته‌های تحقیق حاضر است.

جدول ۳- فراسنجه‌های برآورد شده برای مدل‌های رشد در مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی

Table 3. Estimated parameters of growth models in pearl grey Guinea fowl

Model	$W_0 \pm SE$	$W_f \pm SE$	$k \pm SE$	$m \pm SE$	$b \pm SE$
Female					
Gompertz	24.139 $\pm$ 1.781	1225.160 $\pm$ 7.758	0.026 $\pm$ 0.0004	-	-
Logistic	60.77 $\pm$ 2.303	1142.54 $\pm$ 5.613	0.044 $\pm$ 0.0007	-	-
Richards	16.518 $\pm$ 3.599	1249.79 $\pm$ 13.700	0.023 $\pm$ 0.001	-0.150 $\pm$ 0.060	-
Lopez	35.768 $\pm$ 4.925	1383.90 $\pm$ 20.080	2.152 $\pm$ 0.055	-	75.818 $\pm$ 1.232
Weibull	21.590 $\pm$ 5.246	1210.20 $\pm$ 10.830	0.012 $\pm$ 0.0001	1.721 $\pm$ 0.036	-
Male					
Gompertz	20.960 $\pm$ 1.382	1233.68 $\pm$ 6.121	0.027 $\pm$ 0.0003	-	-
Logistic	57.670 $\pm$ 1.830	1155.91 $\pm$ 4.488	0.046 $\pm$ 0.0006	-	-
Richards	21.590 $\pm$ 2.885	1231.91 $\pm$ 9.103	0.027 $\pm$ 0.001	0.013 $\pm$ 0.052	-
Lopez	42.659 $\pm$ 3.936	1350.60 $\pm$ 13.680	2.331 $\pm$ 0.048	-	72.108 $\pm$ 0.794
Weibull	28.021 $\pm$ 4.188	1200.26 $\pm$ 7.202	0.012 $\pm$ 0.0001	1.834 $\pm$ 0.030	-

W_0 (g), W_f (g), k (g per d), m , and b (d) are initial weight, final (mature weight) weight, coefficient of relative growth or maturing index, the shape parameter, and the age at approximately half maximum body weight, respectively.

SE: Standard error

جوجه‌های نر بود در حالی که مقادیر نرخ رشد مطلق در هفته ۱۲ برای جوجه‌های نر، بالاتر بود.

مشابه نتایج تحقیق حاضر، بیشترین مقدار سن و وزن در نقطه عطف برای هر دو جنس مرغ شاخدار در مدل لجستیک گزارش شده است (Onder et al., 2017). مقادیر برآورد شده برای وزن در نقطه عطف مرغ‌های شاخدار ماده در همه مدل‌ها پایین‌تر از نرها بود که مشابه یافته‌ها در مرغ‌های بومی ویتنام بود (Nguyen Hoang et al., 2021). دامنه سن در نقطه عطف برای مرغ شاخدار نر و ماده به ترتیب ۶/۶۶ تا ۸/۱۳ و ۶/۷۰ تا ۸/۴۶ هفته گزارش شده است (Nahashon et al., 2006b)، که پایین‌تر از دامنه‌های به دست آمده به وسیله مدل‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر بودند. بالا بودن سن در نقطه عطف برای جوجه‌های نر نسبت به جوجه‌های ماده در مرغ نیز گزارش شده است (Goto et al., 2010; Narinc et al., 2010)، که مشابه یافته‌های تحقیق حاضر است. اگرچه بالا بودن سن در نقطه عطف برای جوجه‌های نر نسبت به ماده‌ها در برخی از مطالعات گزارش شده است (Narinc et al., 2010)، اما مخالف با یافته‌های تحقیق حاضر، وزن در نقطه عطف برای جوجه‌های ماده بالاتر از جوجه‌های نر بود. نرخ رشد مطلق برای جوجه‌های نر در بیشتر سنین در مدل‌های برازش شده بالاتر از جوجه‌های ماده بود که مشابه یافته‌های سایر مطالعات در مرغ شاخدار (Nahashon et al., 2006b)، جوجه‌هایی با رشد متوسط (Narinc et al., 2010) و مرغ بومی خزک (Faraji-Arough et al., 2019) بود.

معیارهای نکویی برازش برای مدل‌های رشد مورد مطالعه در جوجه‌های نر و ماده در جدول ۵ ارائه شده است. پایین‌ترین و بالاترین معیارهای میانگین مربعات خطا (MSE)، معیار اطلاعات بیزی (BIC) و معیار اطلاعات آکائیک (AIC) برای دو جنس نر و ماده به ترتیب مربوط به مدل‌های لویز و لجستیک بودند. همچنین، در جوجه‌های نر و ماده، مدل‌های لویز و لجستیک به ترتیب پایین‌ترین و بالاترین معیار ضریب تبیین تصحیح شده را داشتند. بنابراین، بر اساس چهار معیار نکویی برازش می‌توان بیان کرد که مدل لویز، مناسب‌ترین مدل در بین مدل‌های مورد مطالعه برای توصیف الگوی رشد در جوجه‌های نر و ماده است.

مدل‌های رشد مختلفی برای توصیف منحنی رشد طيور استفاده شده است که در میان آنها، مدل‌های لجستیک، گمپرتز و ریچاردز از جمله مدل‌هایی هستند که توصیف

مقادیر ضریب رشد نسبی برآورد شده به وسیله سه مدل گمپرتز، لجستیک و ریچاردز برای دو جنس نر و ماده در تحقیق حاضر نسبت به مقادیر گزارش شده برای مدل‌های ذکر شده در مرغ شاخدار، بالاتر بود (Nahashon et al., 2006b). مشابه تحقیق حاضر، مدل لجستیک مقدار W_0 بالاتری برای جوجه‌های دو رگ CCGP (Michalczuk et al., 2016) و جوجه بومی خزک (Faraji-Arough et al., 2019) داشت. مشابه یافته‌های تحقیق حاضر، برآورد پایین برای فراسنجه m در جوجه‌های ماده نسبت به جوجه‌های نر به وسیله مدل‌های ریچاردز و وان‌برتالانفی در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (Teleken et al., 2017; Faraji-Arough et al., 2019). رابطه معکوسی که بین فراسنجه‌های وزن نهایی و فراسنجه k در مدل‌های گمپرتز، ریچاردز و لجستیک مشاهده شد نشان‌دهنده این است که بلوغ زودرس در حیوانات اهلی منجر به نرخ رشد پایین در سنین اولیه می‌شود (Adenaike et al., 2017). گزارش شده است که فراسنجه‌های وزن نهایی و k با استفاده از مدل گمپرتز در جوجه‌های نر بالاتر از جوجه‌های ماده است (Goto et al., 2010)، که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

مقادیر برآورد شده برای سن (t_i) و وزن (W_i) در نقطه عطف به وسیله مدل‌های مختلف برازش شده در جدول ۴ ارائه شده است. بالاترین مقدار فراسنجه‌های سن و وزن در نقطه عطف در جوجه‌های نر و ماده به وسیله مدل لجستیک برآورد شد در حالی که پایین‌ترین مقدار آنها به وسیله مدل لویز مشاهده شد. در همه مدل‌ها، جوجه‌های نر، وزن در نقطه عطف بالاتری نسبت به جوجه‌های ماده‌ها داشتند در حالی که سن در نقطه عطف جوجه‌های نر برآورد شده با مدل‌های ریچاردز، لویز و ویبول، بالاتر از جوجه‌های ماده بود. مقادیر به دست آمده برای وزن و نقطه عطف در جوجه‌های نر و ماده با استفاده از مدل لویز نزدیک‌تر به مقدار واقعی بود.

مقادیر برآورد شده برای نرخ رشد مطلق (AGR) در هفته‌های ۱، ۱۲ و ۲۴ در دو جنس با مدل‌های مختلف در جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر نرخ رشد مطلق برآورد شده برای سنین مختلف در مدل‌های گمپرتز، لجستیک و لویز (به استثنای هفته ۲۴) در جوجه‌های نر بالاتر از جوجه‌های ماده بود. در مدل ریچاردز، مقادیر نرخ رشد مطلق (به استثنای نرخ رشد مطلق در هفته ۱۲) برای جوجه‌های ماده، بالاتر از جوجه‌های نر بود. نرخ رشد مطلق برآورد شده با مدل ویبول برای هفته اول و ۲۴ در جوجه‌های ماده، بالاتر از

یک مدل چهار فراسنجه‌ای بوده و دارای نقطه عطف انعطاف‌پذیری است. در نتیجه، انتظار می‌رود برازش بهتری در مقایسه با مدل‌های سه فراسنجه‌ای داشته باشد (Tjörve and Tjörve 2010; Wang et al. 2012).

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب روند پیش‌بینی وزن بدن با مدل‌های مورد مطالعه در سنین مختلف برای جوجه‌های نر و ماده در مقایسه با مقادیر واقعی وزن بدن در سنین مشابه را نشان می‌دهند. در مدل لجستیک، مقادیر پیش‌بینی شده برای وزن بدن در بیشتر قسمت‌های منحنی نسبت به مقدار واقعی تفاوت داشته که بیانگر برازش نامناسب این مدل برای داده‌های جوجه‌های نر و ماده دارد. مقادیر پیش‌بینی شده در سنین اولیه برای مدل‌های گمپرتز، ریچاردز و ویبول هر دو جنس، نزدیک به مقدار واقعی بوده، اما برای سنین متوسط و بالا، تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی و مقدار واقعی وزن بدن مشاهده می‌شود. اگرچه در برخی سنین، تفاوت بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده وزن بدن در هر جنس با مدل لوپز نیز مشاهده می‌شود، اما این تفاوت‌ها نسبت به مدل‌های گمپرتز، ریچاردز و ویبول کمتر است و نشان‌دهنده این است که مدل لوپز پیش‌بینی صحیح تری نسبت به مقادیر واقعی وزن بدن در دو جنس نر و ماده دارد.

همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، مدل‌های مورد مطالعه در پیش‌بینی وزن بدن در سنین مختلف، روند یکسانی نداشته و در برخی از مدل‌ها و در بیشتر سنین، مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده به هم نزدیک بوده و در برخی از موارد، مقادیر مشاهده شده متفاوت از مقادیر پیش‌بینی شده بودند. گزارش شده است که در مدل‌هایی که در سنین پایین بین وزن بدن واقعی و پیش‌بینی شده تفاوت وجود دارد، مناسب‌تر از مدل‌هایی هستند که تفاوت آنها در سنین مختلفی مشاهده می‌شود (Adenaike et al., 2017). در تحقیق حاضر، مدل لجستیک، وزن ابتدایی را بالاتر از حد و وزن نهایی را پایین‌تر پیش‌بینی نمود (شکل‌های ۱ و ۲)، که با نتایج مشاهده شده در پنج مرغ بومی ایتالیا (Razzi et al., 2013)، غاز محلی ترکیه (Onder et al., 2017) و مرغ بومی خزک (Faraji-Arough et al., 2019) مطابقت داشت.

بهتری برای رشد داشته‌اند (Narinc et al., 2017) با این حال، هیچ نتیجه ثابتی در مورد عملکرد مدل‌ها در مطالعات قبلی وجود ندارد. دلایل اصلی تفاوت در نتایج مطالعات مختلف احتمالاً به اندازه نمونه، نژادها و روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی نکویی برازش مربوط می‌شود (Nguyen Hoang et al., 2021). در مطالعه منحنی رشد مرغ شاخدار فرانسوی، دو مدل گمپرتز و لجستیک روی رکوردهای وزن بدن تا ۹ هفتهگی برازش شدند و مدل گمپرتز مناسب‌تر از مدل لجستیک برای توصیف منحنی رشد در مرغ شاخدار فرانسه معرفی شد (Nahashon et al., 2006b). همچنین در تحقیق دیگری، الگوی رشد در مرغ‌های شاخدار فرانسه با مدل‌های گمپرتز و لجستیک مورد ارزیابی قرار گرفته و گزارش شد مدل گمپرتز نسبت به مدل لجستیک برای توصیف الگوی رشد در این گونه مناسب است (Nahashon et al., 2006a).

اگرچه گزارشات مبنی بر منحنی رشد مرغ شاخدار محدود است، اما در سایر گونه‌های طیور گزارشات متعددی وجود دارد. برای مثال، در بررسی منحنی رشد غاز محلی ترکیه، پنج مدل رشد روی رکوردهای وزن بدن در دو جنس نر و ماده برازش شد و بر اساس معیارهای نکویی برازش، مدل گمپرتز در مقایسه با سایر مدل‌های مورد مطالعه به عنوان مدل مناسب برای توصیف منحنی رشد معرفی شد (Onder et al., 2017). در بررسی منحنی رشد مرغ‌های بومی ویتنام، مدل گمپرتز و بریجز، بر اساس معیارهای نکویی برازش، به ترتیب مناسب‌ترین مدل برای توصیف منحنی رشد در نرها و ماده‌ها معرفی شدند. همچنین، مدل لجستیک به عنوان مدل نامناسب جهت توصیف منحنی رشد در هر دو جنس گزارش شد (Nguyen Hoang et al., 2021). در تحقیق دیگری، ۱۰ مدل رشد روی رکوردهای وزن بدن در اردک پکین فرانسه و دانمارک استفاده شدند و مدل گمپرتز بر اساس معیارهای نکویی برازش به عنوان مدل مناسب برای توصیف الگوی رشد در دو نژاد انتخاب شد (Ghavi Hossein-Zadeh, 2025a). همچنین، مدل گمپرتز به عنوان مدل مناسب برای توصیف منحنی رشد جوجه‌های گوستی نیز معرفی شده است (Sengul et al., 2024). مدل لوپز،

جدول ۴- سن (t_i)، وزن در نقطه عطف (w_i) و نرخ رشد مطلق (AGR) در هفته ۱، ۱۲ و ۲۴ برآورد شده به وسیله مدل های مختلف رشد

Table 4. Estimated age (t_i), weight at the inflection point (w_i), and absolute growth rate (AGR) at 1, 12, and 24 weeks by different growth models

Model	t_i (d)	w_i (g)	AGR ₁ (g)	AGR ₁₂ (g)	AGR ₂₄ (g)
Female					
Gompertz	52.610	450.711	4.039	9.047	0.671
Logistic	65.438	571.270	2.020	10.765	-2.610
Richards	50.336	422.957	4.637	8.660	1.146
Lopez	47.494	396.606	0.259	8.476	2.006
Weibull	50.265	428.401	1.012	8.958	1.439
Male					
Gompertz	52.033	453.845	4.283	9.190	0.892
Logistic	64.059	577.955	2.169	11.137	-2.117
Richards	52.728	456.124	4.193	9.134	0.844
Lopez	48.649	416.076	0.412	8.810	1.832
Weibull	54.227	456.345	0.644	9.414	1.243

جدول ۵- معیارهای نکویی برازش برای مدل های رشد در نرها و ماده ها در مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی

Table 5. Goodness of fit criteria for fitted growth models in males and females of pearl grey guinea fowl

Model	MSE	AIC	BIC	R ² _{Adj}
Male				
Gompertz	3489.73	9702.99	9722.12	98.12
Logistic	4365.72	9900.52	9919.65	97.65
Richards	3469.08	9698.75	9722.66	98.14
Lopez	3401.94	9681.51	9705.42	98.17
Weibull	3542.11	9717.12	9741.04	98.10
Female				
Gompertz	2816.77	11163.56	11183.33	98.54
Logistic	3459.64	11376.33	11396.10	98.20
Richards	2819.32	11165.49	11190.20	98.53
Lopez	2795.27	11156.63	11181.34	98.55
Weibull	2881.80	11188.18	11212.89	98.50

MSE: Mean square error; BIC: Bayesian information criterion; AIC: Akaike information criterion; R²_{Adj}: Adjusted coefficient of determination

نتیجه گیری کلی

گنجاندن آنها در برنامه های انتخاب جهت دستیابی به منحنی رشد مطلوب توصیه می شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با شماره PR-RIOZ-1403-6933-1 است و هزینه آن به وسیله پژوهشگاه زابل تامین شده است.

الگوی رشد در مرغ شاخدار را می توان به وسیله مدل های غیرخطی که در این تحقیق بررسی شدند، توصیف کرد. در بین مدل های بررسی شده، مدل لویز، مناسب ترین مدل برای توصیف الگوی رشد در هر دو جنس نر و ماده بود. مقادیر سن و وزن در نقطه عطف و نرخ رشد مطلق در هفته های مختلف در جوجه های نر، بالاتر از جوجه های ماده بود. آگاهی از الگوی رشد و فراسنجه های به دست آمده مربوط به دو جنس در تحقیق حاضر می تواند در ارائه برنامه های تغذیه ای جهت تامین نیازهای تغذیه ای در سنین مختلف کمک کند. در کل، تحقیقات بیشتر برای مطالعه فراسنجه های مدل رشد مناسب (مدل لویز) و امکان

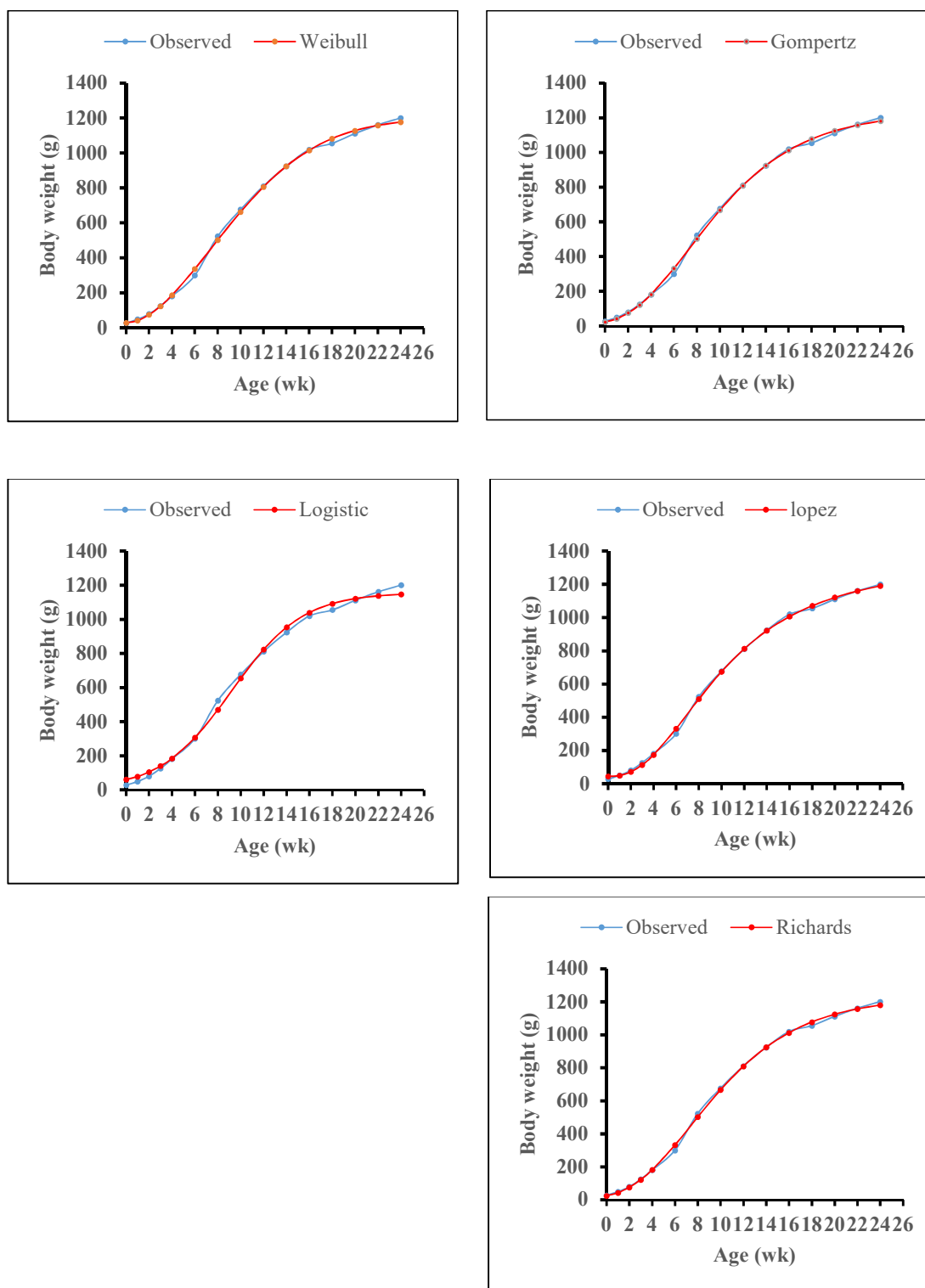


Fig. 1. Estimated and predicted body weights in different ages using growth models in male pearl grey guinea fowls

شکل ۱- مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده وزن بدن جوجه‌های نر در سنین مختلف با استفاده از مدل‌های رشد در مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی

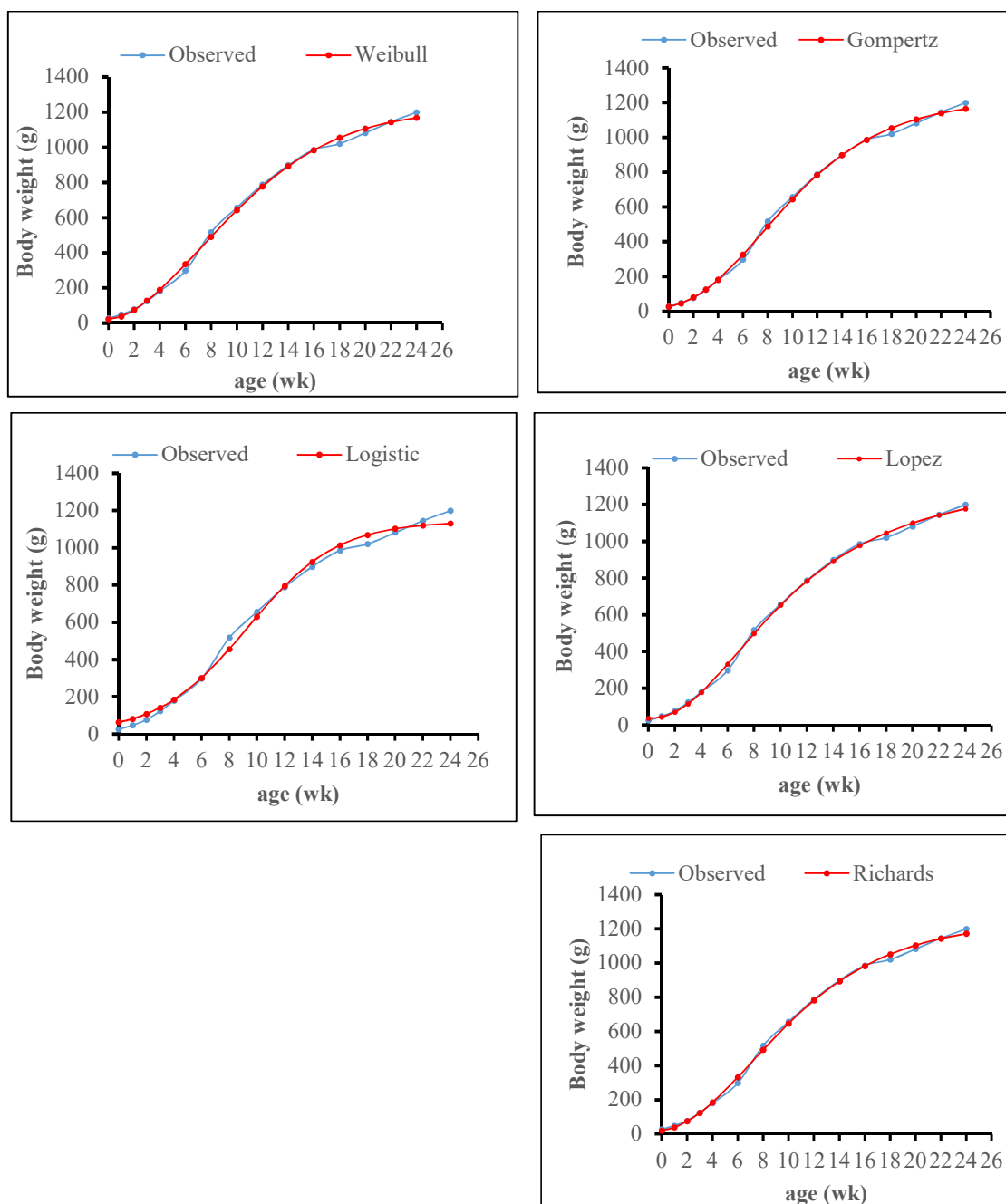


Fig. 2. Estimated and predicted body weights in different ages using growth models in female pearl grey guinea fowl

شکل ۲- مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده وزن بدن جوجه‌های ماده در سنین مختلف با استفاده از مدل‌های رشد در مرغ شاخدار خاکستری مرواریدی

فهرست منابع

- Adenaike, A. S., Akpan, U., Udoh, J. E., Wheto, M., Durosaro, S. O., Sanda, A. J., & Ikeobi, C. O. N. (2017). Comparative evaluation of growth functions in three broiler strains of Nigerian chickens. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 40(4), 611-620.

- Aggrey, S. E. (2009). Logistic nonlinear mixed effects model for estimating growth parameters. *Poultry Science*, 88(2), 276-280. doi: 10.3382/ps.2008-00317
- Barrera-Rivera, D. C., Cotes-Torres, J. M., Amaya, A., & Ceron-Muñoz, M. F. (2024). A new selection criteria to optimize growth in animal breeding programs. *Livestock Science*, 282, 105443. doi: 10.1016/j.livsci.2024.105443
- Bathaei, S. S., & Leroy, P. L. (1996). Growth and mature weight of Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Research*, 22(2), 155-162. doi: 10.1016/S0921-4488(96)00888-7
- Bitaraf Sani, M., Khojestekey, M., Zare Harofte, J., & Shafei Naderi, A. (2021). Comparison of linear and non-linear models to predict the growth curve of dromedary camels. *Animal Production Research*, 10(4), 73-81. doi: 10.22124/AR.2022.18931.1595 [In Persian]
- Darmani Kuhi, H., France, J., López, S., & Ghavi Hossein-Zadeh, N. (2019a). A sinusoidal equation as alternative to conventional growth functions to describe the evolution of growth in quail. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(3), e0606. doi: 10.5424/sjar/2019173-14973
- Darmani Kuhi, H., López, S., France, J., Mohit, A., Shabanpour, A., Hossein-Zadeh, N. G., & Falahi, S. (2019b). A sinusoidal equation as an alternative to classical growth functions to describe growth profiles in turkeys. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 41, e45990. doi: 10.4025/actascianimsci.v41i1.45990
- Darmani-Kuhi, H., Porter, T., López, S., Kebreab, E., Strathe, A. B., Dumas, A., Dijkstra, J., & France, J. (2010). A review of mathematical functions for the analysis of growth in poultry. *World's Poultry Science Journal*, 66(2), 227-240. doi: 10.1017/S0043933910000280
- Eleroglu, H., Yildirim, A., Şekeroğlu, A., Çoksöyler, F. N., & Duman, M. (2014). Comparison of growth curves by growth models in slow-growing chicken genotypes raised the organic system. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16(3), 529-535.
- Ersoy, I. E., Mendes, M., & Aktan, S. (2006). Growth curve establishment for American Bronze turkeys. *Archives Animal Breeding*, 49(3), 293-299. doi: 10.5194/aab-49-293-2006
- Faraji-Arough, H., Rokouei, M., Maghsoudi, A., & Mehri, M. (2019). Evaluation of non-linear growth curves models for native slow-growing Khazak chickens. *Poultry Science Journal*, 7(1), 25-32. doi: 10.22069/psj.2019.15535.1355
- Gao, C. Q., Yang, J. X., Chen, M. X., Yan, H. C., & Wang, X. Q. (2016). Growth curves and age-related changes in carcass characteristics, organs, serum parameters, and intestinal transporter gene expression in domestic pigeon (*Columba livia*). *Poultry Science*, 95(4), 867-877. doi:10.3382/ps/pev443
- Ghavi Hossein-Zadeh, N. (2024a). Modeling the growth curve in ducks: a sinusoidal model as an alternative to classical nonlinear models. *Poultry Science*, 103(8), 103918. doi: 10.1016/j.psj.2024.103918
- Ghavi Hossein-Zadeh, N. (2024b). Introducing an alternative nonlinear model to characterize the growth curve in ostrich. *Poultry Science*, 103(12), 104465. doi: 10.1016/j.psj.2024.104465
- Ghavi Hossein-Zadeh, N. (2025a). Comparison of nonlinear models for describing the growth curve of Pekin ducks. *Veterinary Medicine and Science*, 11(2), e70268. doi: 10.1002/vms3.70268
- Ghavi Hossein-Zadeh, N. (2025b). Application of alternative nonlinear models to predict growth curve in partridges. *PLoS ONE*, 20(4), e0321680. doi: 10.1371/journal.pone.0321680
- Gompertz, B. (1825). On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 115, 513-583.
- Goto, T., Goto, N., Shiraishi, J. I., Bungo, T., & Tsudzuki, M. (2010). Comparison of growth curves of four breeds of Japanese native chicken, Onaga-dori, Tosa-jidori, Ukokkei and Hinai-dori. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(9), 1362-1365.
- Hrncar, C., Bujko, J., & Widya, P. B. P. (2021). The growth curve of Gompertz model in body weight of mixed-sex goose breeds in Slovakia. *Genetics & Biodiversity Journal*, 5(1), 28-32. doi: 10.46325/gabj.v5i1.161
- 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. doi: 10.22059/ijas.2023.327800.653838 [In Persian]
- Kaplan, S., & Gürcan, E. K. (2018). Comparison of growth curves using non-linear regression function in Japanese quail. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 112-117. doi: 10.1080/09712119.2016.1268965
- Kebreab, E., Strathe, A. B., Yitbarek, A., Nyachoti, C. M., Dijkstra, J., López, S., & France, J. (2011). Modeling the efficiency of phosphorus utilization in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 89(9), 2774-2781. doi: 10.2527/jas.2009-2550
- Lee, L., Atkinson, D., Hirst, A. G., & Cornell, S. J. (2020). A new framework for growth curve fitting based on the von Bertalanffy Growth Function. *Scientific Reports*, 10(1), 7953. doi:10.1038/s41598-020-64839-y
- Lopez, S., France, J., Gerrits, W. J. J., Dhanoa, M. S., Humphries, D. J., & Dijkstra, J. (2000). A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. *Journal of Animal Science*, 78(7), 1816-1828. doi: 10.2527/2000.7871816x

- Mata-Estrada, A., González-Cerón, F., Pro-Martínez, A., Torres-Hernández, G., Bautista-Ortega, J., Becerril-Pérez, C. M., Vargas-Galicia, A. J., & Sosa-Montes, E. (2020). Comparison of four nonlinear growth models in Creole chickens of Mexico. *Poultry Science*, 99(4), 1995-2000. doi: 10.1016/j.psj.2019.11.031
- Michalczuk, M., Damaziak, K., & Goryl, A. (2016). Sigmoid models for the growth curves in medium-growing meat type chickens, raised under semi-confined conditions. *Annals of Animal Science*, 16(1), 65. doi:10.1515/aoas-2015-0061
- Murunga, P., Kennedy, G. M., Imboma, T., Malaki, P., Kariuki, D., Ndiema, E., Obanda, V., Agwanda, B., Lichoti, J. K., & Ommeh, S. C. (2018). Mitochondrial DNA D-Loop Diversity of the Helmeted Guinea Fowls in Kenya and Its Implications on HSP70 Gene Functional Polymorphism. *BioMed Research International*, 2018(1), 7314038. doi: 10.1155/2018/7314038
- Mushi, J. R., Chiwanga, G. H., Amuzu-Aweh, E. N., Walugembe, M., Max, R. A., Lamont, S. J., Kelly, T. R., Mollel, E. L., Msoffe, P. L., Dekkers, J., & Muhairwa, A. P. (2020). Phenotypic variability and population structure analysis of Tanzanian free-range local chickens. *BMC veterinary research*, 16, 1-10. doi: 10.1186/s12917-020-02541-x
- Nahashon, S. N., Aggrey, S. E., Adefope, N. A., & Amenyenenu, A. (2006a). Modeling growth characteristics of meat-type guinea fowl. *Poultry Science*, 85(5), 943-946. doi: 10.1093/ps/85.5.943
- Nahashon, S. N., Aggrey, S. E., Adefope, N. A., Amenyenenu, A., & Wright, D. (2006b). Growth characteristics of pearl gray guinea fowl as predicted by the Richards, Gompertz, and logistic models. *Poultry Science*, 85(2), 359-363. doi: 10.1093/ps/85.2.359
- Narinc, D., Aksoy, T., Karaman, E., & Curek, D. I. (2010). Analysis of fitting growth models in medium growing chicken raised indoor system. *Trends in Animal and Veterinary Sciences*, 1, 12-18.
- Narinc, D., Narinç, N. Ö., & Aygün, A. (2017). Growth curve analyses in poultry science. *World's Poultry Science Journal*, 73, 395-408. doi: 10.1017/S0043933916001082
- Nguyen Hoang, T., Do, H. T., Bui, D. H., Pham, D. K., Hoang, T. A., & Do, D. N. (2021). Evaluation of non-linear growth curve models in the Vietnamese indigenous Mia chicken. *Animal Science Journal*, 92(1), e13483. doi: 10.1111/asj.13483
- Onder, H., Boz, M. A., Sarica, M., Abaci, S. H., & Yamak, U. S. (2017). Comparison of growth curve models in Turkish native geese. *European Poultry Science*, 81(10), 193. doi: 10.1399/eps.2017.193
- Pinheiro, J., Bates, D., Debroy, S., Sarkar, D., Heisterkamp, S., Van Willigen, B., Ranke, J., & R Core Team. (2025). Nlme: nonlinear mixed-effects models. R package version 3.1-168. Web, Retrieved April 1, 2025. <https://cran.r-project.org/package=nlme>
- Purwin, C., Wyżlic, I., Pogorzelska-Przybyłek, P., Nogalski, Z., & Białobrzewski, I. (2024). Influence of gender status and feeding intensity on the growth curves of body weight, dry matter intake and feed efficiency in crossbred beef cattle. *Journal of Animal and Feed Science*, 33, 101-110. doi: 10.22358/jafs/169512/2023
- Ramos, S. B., Caetano, S. L., Savegnago, R. P., Nunes, B. N., Ramos, A. A., & Munari, D. P. (2013). Growth curves for ostriches (*Struthio camelus*) in a Brazilian population. *Poultry Science*, 92(1), 277-282. doi: 10.3382/ps.2012-02380
- Richards, F. J. (1959). A flexible growth function for empirical use. *Journal of experimental Botany*, 10(2), 290-301. doi: 10.1093/jxb/10.2.290
- Ridho, M., Putra, W. P. B., & Sola-Ojo, F. E. (2021). The growth curve of Gompertz and Logistic models in body weight of Ecotype Fulani Chickens (*Gallus domesticus*), In: The 7th International Conference on Sustainable Agriculture and Environment, *IOP Publishing*, 637(1), 012098. doi: 10.1088/1755-1315/637/1/012098
- Rizzi, C., Contiero, B., & Cassandro, M. (2013). Growth patterns of Italian local chicken populations. *Poultry Science*, 92(8), 2226-2235. doi: 10.3382/ps.2012-02825
- Robertson, T. B. (1908). On the normal rate of growth of an individual, and its biochemical significance. *Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen*, 25(4), 581-614.
- Safari, A., Ahmadpanah, J., Jafaroghli, M., & Karimi, H. (2021). Comparative study of growth patterns for three strains of broiler chickens using mathematical models. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 86(1), 75-82.
- Segura-Correa, J. C., Santos-Ricalde, R. H., & Palma-Avila, I. (2017). Non-Linear model to describe growth Curves of commercial turkey in the tropics of Mexico. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 19(01), 27-32. doi: 10.1590/1806-9061-2016-0246
- Şengül, T., Çelik, Ş., Şengül, A. Y., İnci, H., & Şengül, Ö. (2024). Investigation of growth curves with different nonlinear models and MARS algorithm in broiler chickens. *PloS one*, 19(11), e0307037. doi: 10.1371/journal.pone.0307037
- Śmiecińska, K., Stępień, A., & Kubiak, D. (2022). Effect of variety and sex on the carcass and meat quality traits of guinea fowl (*Numida meleagris* L.). *Animals*, 12(21), 2916. doi: 10.3390/ani12212916
- Susanti, T., & Purba, M. (2018). The growth of local white Muscovy during starter and grower periods. *Journal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 22(2), 63-67. doi: 10.14334/jitv.v22i2.1615

- Teleken, J. T., Galvão, A. C., & Robazza, W. D. S. (2017). Comparing non-linear mathematical models to describe growth of different animals. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39, 73-81. doi: 10.4025/actascianimsci.v39i1.31366
- Tjørve, E., & Tjørve, K. M. (2010). A unified approach to the Richards model family for use in growth analyses: Why we need only two model forms. *Journal of Theoretical Biology*, 267, 417-425. doi: 10.1016/j.jtbi.2010.09.008.
- Wang, X.-S., Wu, J., & Yang, Y. (2012). Richards model revisited: Validation by and application to infection dynamics. *Journal of Theoretical Biology*, 313, 12-19. doi: 10.1016/j.jtbi.2012.07.024
- Weibull, W. (1951). A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of applied mechanics*, 18(3), 293-297. doi: 10.1115/1.4010337
- Yang, Y., Mekki, D. M., Lv, S. J., Wang, L. Y., Yu, J. H., & Wang, J. Y. (2006). Analysis of fitting growth models in Jinghai mixed-sex yellow chicken. *International Journal of Poultry Science*, 5(6), 517-521.