



Predicting The Growth Curve of Healthy And Ascites Arian Broiler Chickens Using Nonlinear Models

Vahid Janizadeh¹ , Sadegh Alijani² , Seyed Abbas Rafat³ , Karim Hassanpur⁴

1. Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran E-mail: V.janizadeh@gmail.com
2. Corresponding author, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran E-mail: Sad-ali@tabrizu.ac.ir
3. Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran E-mail: rafata@tabrizu.ac.ir
4. Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran E-mail: Karimhasanpur@tabrizu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	This research aimed to identify the best nonlinear mixed model to fit the growth curve of healthy and ascites-affected broiler chickens. Body weight records of 823 chickens from the paternal line B of the commercial Arian strain were used, from birth to 45 days. These chickens (381 males, 442 females) were raised at the University of Tabriz research station, with feeding and rearing conditions following guidelines from the Arian Broiler Line Breeding and Improvement Complex in Babolkanar. Results from parameter estimation with a global random effect for eight nonlinear mixed models indicated that the Mitscherlich model was selected as the best for healthy and ascites-affected males (AIC = 33945, 7012.50), and the log-logistic model was best for healthy and ascites-affected females (AIC = 41061, 1468.30). These two models, each with three parameters (B, A, and K), were examined with random effects considered for each parameter. The lowest AIC and BIC values for the log-logistic model were observed with two random parameters (B, K) at 53985 and 54038, respectively, followed by three random parameters (B, A, and K) at 54069 and 54006, respectively. Overall, the findings suggest that the Mitscherlich model for male chicks (healthy and ascetic) and the log-logistic model for female chicks provide the best fit for growth curves under both healthy and ascetic conditions. These models can be valuable in more precise genetic evaluations.
Article history:	
Received: 15 May 2025	
Received in revised form: 17 July 2025	
Accepted: 20 July 2025	
Published online: Winter 2025	
Keywords: <i>Ascites, growth curve, healthy chicken, log-logistic model.</i>	

Cite this article: Janizadeh, V., Alijani, S., Rafat, S. A. & Hassanpur, K. (2025). Evaluation of aqueous and alcoholic extracts of *Capparis Spinosa* L. fruit on growth performance, blood biochemical indices and immune system of broiler chickens. *Iranian Journal of Animal Science*, 56 (4), 891-905. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.394726.654075>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.394726.654075>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Background

The poultry industry is economically vital, driven by increasing socioeconomic demand for animal protein. Given the limitations on expanding livestock and poultry numbers in the country, utilizing animals with high production efficiency is crucial. Diseases can significantly impact a nation's poultry industry. Contemporary poultry breeding should focus on enhancing genetic resistance to diseases, thereby reducing antimicrobial reliance. Current selection practices for commercial lines with accelerated growth, increased production, and lower feed conversion ratios have inadvertently led to reduced genetic diversity, physiological disorders, and compromised immune system function. This erosion of genetic diversity creates populations vulnerable to emerging diseases, posing a substantial risk to the poultry industry. Ascites, or pulmonary hypertension syndrome, is a metabolic disorder observed in broiler chickens resulting from right ventricular failure accompanied by fluid accumulation in the abdominal cavity. Growth models are valuable management tools for understanding the influence of intrinsic and environmental factors on growth-related traits. This study aimed to evaluate various models for fitting growth curves in healthy and ascites chickens, identifying the best-fitting model using classical statistical methods.

Methods

To investigate the growth curves of broiler chickens at the line level, body weight records of 823 chicks from the paternal B-line of the commercial Arian strain were used. A total of 381 male and 442 female chicks were raised on litter, with feeding and rearing conditions conforming to the guidelines of the Line Breeding and Improvement Complex in Babolkanar. The study was conducted at the Research Station of the University of Tabriz. A lighting program of 23 hours of light and 1 hour of darkness was employed throughout the rearing period. Birds had ad libitum access to water and feed. The paternal B-line has undergone continuous selection for increased body weight over multiple generations. Chicks were fed starter feed from days 0-15, grower feed from days 15-30, and finisher feed from days 30-45, and were vaccinated according to standard protocols. Body weight records were collected at hatch, weekly from weeks 1 to 6, and at 45 days of age. Following the removal of outlier data from weekly weight measurements, conventional methods were employed to fit various nonlinear mixed models to investigate growth curves in ascetic and healthy chickens.

Results

The results of parameter estimation with a general random effect for 8 nonlinear mixed models showed that the Mitscherlich model for healthy and ascetic males with an AIC index of 33945 and 7012.50, respectively, and the log-logistic model for healthy and ascetic females with an AIC index of 41061 and 1468.30, respectively, were selected as the best models. These two models, having three parameters (B, A, and K), each considered with a random effect, were examined. The lowest values of the AIC and BIC fit criteria for the log-logistic model with two random parameters (B, K) were 53985 and 54038, respectively, followed by the three random parameter model (B, A, and K) with values of 54069 and 54006, respectively.

Conclusion

In conclusion, the nonlinear Logistic and Mitscherlich models with a general random effect provided the best fit to the body weight data for describing the growth of healthy and ascetic male and female chicks. Furthermore, significant differences in the growth patterns between these two groups were observed, and these differences were well-described by the nonlinear mixed-effects models.

Data Availability Statement

This article contains all the data that were created or evaluated during the research.

Acknowledgements

The authors would like to sincerely thank the members of the Faculty of Animal Sciences, University of Tehran Research Council for the approval and support of this research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.



پیش‌بینی منحنی رشد جوجه‌های سالم و مبتلا به آسیت آراین با استفاده از مدل‌های غیرخطی مختلط

وحید جانی زاده^۱ | صادق علیجانی^۲ | عباس رافت^۳ | کریم حسن پور^۴

۱. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، آذربایجان، ایران. رایانامه: V.janizadeh@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران ایمیل: Sad-ali@tabrizu.ac.ir

۳. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: rafata@tabrizu.ac.ir

۴. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران رایانامه: Karimhasanpur@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	هدف از این تحقیق شناسایی بهترین مدل غیرخطی مختلط برای برازش منحنی رشد جوجه‌های سالم و مبتلا به آسیت بود. بدین منظور از رکوردهای وزن بدن ۸۲۳ جوجه از خط پدری B سوبه تجاری آراین، از زمان تولد تا ۴۵ روزگی استفاده شد. این جوجه‌ها (شامل ۳۸۱ نر و ۴۴۲ ماده) در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه تبریز پرورش یافته و شرایط تغذیه و پرورش آن‌ها مطابق با دستورالعمل‌های مجتمع پرورش و اصلاح نژاد مرغ لاین آراین بابلکنار بوده است. نتایج حاصل از برآورد پارامتر با اثر تصادفی کلی برای ۸ مدل غیرخطی مختلط نشان داد که مدل میتچرلیچ برای نرهای سالم و مبتلا به آسیت با شاخص AIC برابر ۳۳۹۴۵، ۷۰۱۲/۵۰ و مدل لوگ-لجیستیک برای ماده سالم و مبتلا به آسیت با شاخص AIC برابر ۴۱۰۶۱، ۱۴۶۸/۳۰ به عنوان بهترین مدل انتخاب شدند. در ادامه از آنجایی که هر دو مدل دارای سه پارامتر بودند به ترتیب برای هر کدام از پارامترها (A، B و K) اثر تصادفی در نظر گرفته شده و مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. کمترین مقدار معیار برازش AIC و BIC برای مدل لوگ-لجیستیک با دو پارامتر تصادفی (B، K) به ترتیب برابر با ۵۴۰۳۸، ۵۳۹۸۵ و بعد آن با سه پارامتر تصادفی (A، B و K) با مقادیر ۵۴۰۰۶، ۵۴۰۶۹ بودند. به طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که مدل میتچرلیچ برای جوجه‌های نر و مدل لوگ-لجیستیک برای جوجه‌های ماده، بهترین برازش را برای منحنی رشد در شرایط سالم و مبتلا به آسیت دارند و می‌توانند در ارزیابی‌های ژنتیکی دقیق‌تر استفاده شوند.
مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹	
تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۴	
کلیدواژه‌ها:	
آسیت، جوجه سالم، منحنی رشد، مدل لوگ-لجیستیک.	

استناد: جانی زاده، وحید؛ علیجانی، صادق؛ رافت، عباس و حسن پور، کریم (۱۴۰۴). پیش‌بینی منحنی رشد جوجه‌های سالم و مبتلا به آسیت آراین با استفاده از مدل‌های غیرخطی مختلط. نشریه علوم دامی ایران، ۵۶ (۴)، ۸۹۱-۹۰۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.394726.654075>

© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.394726.654075>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.



مقدمه

در صنعت پرورش طیور، با توجه به اهمیت اقتصادی و نیاز فزاینده جامعه به پروتئین حیوانی، و همچنین محدودیت‌های موجود در افزایش تعداد دام و طیور، بهره‌گیری از حیواناتی با بازده تولیدی بالا در کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بیماری‌های مختلف می‌توانند اثرات نامطلوبی بر این صنعت داشته باشند. امروزه، یکی از اهداف اصلی در اصلاح نژاد طیور، افزایش مقاومت ژنتیکی در برابر بیماری‌ها است، که این امر منجر به کاهش مصرف دارو خواهد شد (Gibson et al., 2005). انتخاب لاین‌های تجاری با رشد و تولید بیشتر و ضریب تبدیل کمتر، منجر به کاهش تنوع ژنتیکی، اختلالات فیزیولوژیک و ضعف کلی در سیستم ایمنی شده است (Aliabad et al., 2011). کاهش تنوع ژنتیکی، جمعیت‌ها را در برابر بیماری‌های جدید آسیب‌پذیرتر می‌کند و این مسئله یک خطر جدی برای صنعت پرورش طیور محسوب می‌شود (Hoffman, 2009).

یکی از این بیماری‌ها سندرم فشار خون ریوی (PHS) یا سندرم آسیت (AS) می‌باشد که از عوارض جانبی انتخاب ژنتیکی برای رشد سریع و عملکرد بالای تولید گوشت در طیور گوشتی محسوب می‌شود (Parveen et al., 2020). بیماری آسیت با تجمع مایعات در حفره شکم، منجر به مرگ می‌شود (Weidman et al., 2013; Balogh et al., 2000). این بیماری ناشی از عدم توانایی پرندگان در حال رشد سریع در تأمین اکسیژن کافی برای افزایش میزان متابولیسم است (Balogh et al., 2000; Baghbanzadeh and Decuyper, 2008). شرایط کمبود اکسیژن باعث تحریک برون‌ده قلبی می‌شود که منجر به انقباض آرتریول‌های ریوی می‌شود و این باعث فشار خون بالا در گردش خون ریوی، هایپرتروفی بطن راست و در نهایت نارسایی بطن راست می‌شود (Weidman et al., 2013; Chapman et al., 2001). بسیاری از محققان معتقدند که آسیت به عوامل تغذیه‌ای، مدیریتی، محیطی و ژنتیکی مربوط می‌شود (Julian, 2000; Olkowski, 2007; Baghbanzadeh and Decuyper, 2008). با این حال، خسارات اقتصادی ناشی از این بیماری در سطح جهان سالانه حدود ۱۰۰ میلیون دلار تخمین زده می‌شود (Weidman et al., 2013).

تأثیر عامل ژنتیکی در سندرم فشار خون ریوی توسط بسیاری از محققان مطرح شده است، زیرا صفات مربوط به آسیت، مانند هیپرتروفی قلب و مایعات شکمی، دارای وراثت‌پذیری متوسط یا زیاد هستند (Daruyan et al., 2009; Lahav et al., 2006). این سندرم برای اولین بار در گله‌های گوشتی که در ارتفاعات بولیوی (ارتفاع بیش از ۱۸۰۰ متر از سطح دریا) پرورش داده شده بودند، گزارش گردید (Hassanzadeh et al., 2013). طبق یافته‌های محققین، مهم‌ترین عامل در بروز سندرم آسیت، هیپوکسی است. بیماری‌های عفونی دستگاه تنفس جوجه‌های گوشتی که باعث تخریب بافت ریه می‌شوند، منجر به کاهش ظرفیت تنفسی و هیپوکسی شده و با افزایش فشار خون ریوی، سندرم آسیت را ایجاد می‌کنند (Hassanzadeh et al., 2013). مرگ و میر ناشی از آسیت در گله‌های گوشتی تجاری از ۵٪ تا ۳۰٪ در بعضی از گله‌ها متغیر است (Balogh et al., 2003).

تجزیه و تحلیل‌های ژنتیکی تأیید کرده‌اند که آسیت قابل وراثت است و وراثت‌پذیری آن از ۰/۲۱ تا ۰/۴۵ متغیر است (Lubritz et al., 1995). درمان مؤثری برای آسیت وجود ندارد و پرندگانی که دارای علائم آسیت هستند، به سرعت از بین می‌روند. حذف آسیت از طریق اصلاح نژاد امکان‌پذیر است و انتخاب پرندگانی که از لحاظ ژنتیکی استعداد کمتری برای بروز آسیت دارند، می‌تواند یک روش مناسب در نظر گرفته شود (Nematzadeh et al., 2022). بیماری آسیت با نرخ رشد و جنسیت در برخی مواقع رابطه مستقیم دارد. نرخ رشد طیور در سن‌های ابتدایی بیشتر است و کم‌کم از شیب منحنی رشد کاسته می‌شود و در زمان بلوغ جنسی متوقف می‌گردد (Hosseinpour et al., 2017). سرعت رشد طیور مبتلا به آسیت کمتر از طیور سالم است و در انتهای دوره پرورش، وزن طیور مبتلا به آسیت کمتر از طیور سالم خواهد بود (Baghbanzadeh and Decuyper, 2008).

رشد از ویژگی‌های اقتصادی در تولید طیور است و تحت تأثیر ژنتیک و اثرات محیطی قرار دارد. رشد را می‌توان به عنوان افزایش اندازه توده بدن در واحد زمان یا رابطه‌ای بین وزن و طول عمر تعریف کرد (Lawrence et al., 2012). رشد یک عملکرد مداوم در طول زندگی حیوان است، از مراحل جنینی تا سن بزرگسالی، و از نظر ریاضی توسط مدل‌های رشد که دارای پارامترهایی با معنی بیولوژیکی هستند، توضیح داده می‌شود (Fitzhugh, 1976).

پیشنه پژوهش

1. Rilmorary hypertension syndrome
2. Acites syndrome

بررسی میزان رشد یا تغییرات وزن در طول زندگی حیوانات، به عنوان یک شاخص کلیدی در برنامه‌های اصلاح نژادی، اهمیت ویژه‌ای دارد (Kucuk and Eyduvan, 2009). این اهمیت به دلیل ارتباط مستقیم این ویژگی با میزان تولید گوشت است (Mandal et al., 2008). منحنی رشد، که نمایانگر تغییرات رشد در یک بازه زمانی مشخص است (Keskin et al., 2009)، ابزاری کارآمد برای بهبود مدیریت گله، به ویژه در تصمیم‌گیری‌های مربوط به حذف دام، ارزیابی وضعیت تغذیه و سلامت دام است (Dudouet, 1982).

استفاده از مدل‌های رشد، یکی از روش‌های توصیف منحنی رشد است. مدل‌های رشد، ابزارهای مدیریتی مناسبی برای درک اثرات عوامل درونی و محیطی بر ویژگی‌های مرتبط با رشد و بهبود استراتژی‌های پرورشی هستند (Loibel et al., 2010). منحنی رشد، نموداری از رابطه وزن و سن بر اساس یک تابع در زمان مشخص است که تغییرات تدریجی وزن بدن را با دقت نشان می‌دهد. این منحنی‌ها معمولاً به شکل سیگموئیدی هستند و شامل سه فاز آغازین، افزایشی و سکون می‌باشند. در مرحله اولیه، رشد از یک نقطه خاص شروع شده و به تدریج افزایش می‌یابد. در مرحله دوم، منحنی از حالت خطی خارج شده و انحنا پیدا می‌کند. در مرحله آخر، وزن به یک مقدار ثابت (مجانبی) می‌رسد (Waheed et al., 2011).

مدل سازی رشد یک فرآیند پیچیده است زیرا در آن توصیف اندازه‌گیری‌های طولی با پارامترهای کمی با تفسیر بیولوژیکی وجود دارد. مدل‌های غیرخطی (NLM^*) اغلب برای توصیف منحنی‌های رشد به کار می‌روند، اما در داده‌های در طول زمان (مانند رشد)، واریانس و همبستگی بین اندازه‌گیری‌ها با گذشت زمان (سن) افزایش می‌یابد که فرض استقلال آماری را نقض می‌کند. این مشکل در مدل‌های غیرخطی (NLM) با اثرات ثابت نادیده گرفته می‌شود. برای رفع این نقص، از مدل‌های اثرات ترکیبی غیرخطی ($NLMM^*$) استفاده می‌شود. مدل‌های اثرات ترکیبی برای داده‌های طولی مانند رشد، به دلیل ساختار کوواریانس انعطاف‌پذیر و توانایی آنها در مدیریت داده‌های نامتعادل مورد توجه قرار گرفته‌اند (Aggrey, 2009).

مدل NLMM این امکان را فراهم می‌کند که پیش از بررسی اثرات ثابت، واریانس‌های تصادفی را در نظر گرفت و تا حدی خودهمبستگی در اندازه‌گیری‌های مکرر را کنترل نمود (Aggrey, 2009). مدل‌های اثرات ترکیبی غیرخطی با وارد کردن اثرات تصادفی، منابع مختلف ناهمگنی در داده‌ها را نیز در نظر می‌گیرند (Hall and Clutter, 2004). در این مدل‌ها، هر پارامتر هم با یک اثر ثابت (نشان‌دهنده میانگین پارامتر در جمعیت) و هم با یک اثر تصادفی (نشان‌دهنده تفاوت بین مقدار پارامتر برازش شده برای هر فرد و میانگین پارامتر) مشخص می‌شود. اثرات تصادفی با توصیف توزیع‌شان مدل‌سازی می‌شوند و از مشکل پارامتربندی بیش از حد جلوگیری می‌کنند. به این ترتیب، NLMM‌ها روشی جامع‌تر و دقیق‌تر برای مدل‌سازی داده‌های طولی ارائه می‌دهند (Aggrey, 2009). مدل‌سازی منحنی‌های رشد ابزاری کارآمد برای تجسم الگوهای رشد در طول زمان فراهم می‌کند. معادلات حاصل از این مدل‌سازی، امکان پیش‌بینی وزن مورد انتظار یک گروه از حیوانات در یک سن مشخص را فراهم می‌سازند (Norris et al., 2007).

در یک مطالعه، مدل‌های غیرخطی مختلط ون برتالانفی، ریچاردز، گومپرتز و برودی ارزیابی شدند و این مدل‌ها با افزودن پارامترهای تصادفی، به مدل‌های مختلط تبدیل شده و برای پیش‌بینی رشد جوجه‌های تخمگذار به کار رفتند. مدل‌های غیرخطی ودقت مدل‌ها با معیارهای (AIC)، (BIC) و مقادیر همبستگی تعیین شدند و مدل گومپرتز بهترین برازش را برای مجموعه داده‌ها داشت و به عنوان مدل انتخابی برای توصیف و پیش‌بینی منحنی رشد در نظر گرفته شد (Galeano et al., 2014).

در مطالعه دیگر به بررسی پارامترهای مدل‌های منحنی رشد لجستیک، گومپرتز و ریچاردز در یک نژاد مرغ ایتالیایی پرداختند. بدین منظور وزن پرندگان نر و ماده از دو هفته‌گی تا بیست و چهار هفته‌گی اندازه‌گیری شدند. بر اساس داده‌ها جوجه‌ها الگوی رشد آهسته داشتند نتایج نشان داد که مدل گومپرتز، داده‌های وزن زنده را به خوبی برای پرندگان نر و ماده نسبت به سایر مدل‌ها برازش کرد (Selvaggi et al., 2015).

در بررسی دیگر چهار مدل غیرخطی شامل لجستیک، گومپرتز-لیرد، ریچاردز و ون برتالانفی برای دستیابی به بهترین پیش‌بینی پارامترهای رشد که منحنی رشد را در یک جمعیت مرغ آمیخته (حاصل از تلاقی F2 مرغ گوشتی لاین آراین (لاین B)

و مرغ بومی ارومیه) توصیف می‌کنند، مقایسه شدند. وزن بدن جوجه‌ها از بدو تولد تا ۸۴ روزگی که شامل ۳۰۳ پرنده (۱۷۴ ماده و ۱۲۹ نر) بود هفتگی اندازه گیری شد. نرها وزن اولیه و نهایی بالاتری نسبت به ماده‌ها داشتند. نتایج نشان داد که مدل گومپرتز- لیرد عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشت، بنابراین به عنوان بهترین مدل برای تجزیه و تحلیل الگوی رشد در نژاد آمیخته در نظر گرفته شد (Seifi Moroudi et al., 2020).

با توجه به اهمیت بررسی منحنی رشد، هدف از این مطالعه، بررسی و مقایسه مدل‌های غیرخطی مختلف و تعیین بهترین مدل بیانگر الگوی رشد طیور گوشتی سالم و مبتلا به آسیب از تولد تا ۴۵ روزگی است که بتوان از این اطلاعات در مدیریت طیور گوشتی استفاده کرد.

روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه در سال ۱۳۹۹ به منظور بررسی منحنی رشد جوجه‌های گوشتی در سطح لاین از رکوردهای وزن بدن ۸۲۳ جوجه از خط پدری B سویه تجاری آرین استفاده شد. جنسیت جوجه‌ها پس از رشد جوجه‌ها در یک ماهگی با استفاده از خصوصیات ظاهری مشخص گردید. در کل ۳۸۱ قطعه جوجه نر و ۴۴۲ قطعه جوجه ماده روی بستر پرورش یافته و شرایط تغذیه و پرورش جوجه‌های انتخاب شده مطابق با دستورالعمل‌های جوجه لاین آرین و محل انجام این تحقیق نیز ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه تبریز بود. لازم به ذکر است که در خط پدری B در طی نسل‌های متمادی در جهت افزایش وزن بدن انتخاب صورت گرفته است. در طول دوره پرورش از برنامه نوری ۲۳ ساعت روشنایی و ۱ ساعت خاموشی استفاده شد. دسترسی پرند ها به آب و دان به صورت آزاد بود. پرند ها از روز اول تا ۱۵ روز از جیره آغازین، طی ۳۰-۱۵ روزگی از جیره رشد و ۴۵-۳۰ روزگی از جیره پایانی تغذیه شده و بر اساس برنامه رایج واکسینه شدند. در طول دوره پرورش در طی ۸ مرحله و به صورت هفتگی وزن‌کشی انفرادی (شناسایی جوجه با شماره بالی) در جوجه‌ها انجام شد و همزمان میزان تلفات و شناسایی پرندگان مبتلا و تلف شده از آسیب ثبت گردید. رکورد جوجه‌های گوشتی در زمان‌های تفریح، هفته‌های اول تا ششم و ۴۵ روزگی اندازه‌گیری شده است. در این پژوهش، به منظور ارزیابی منحنی رشد جوجه‌های گوشتی، هشت مدل غیرخطی مختلف برای چهار گروه از جوجه‌ها (نر سالم، نر مبتلا به آسیب، ماده سالم و ماده مبتلا به آسیب) مورد بررسی قرار گرفت. برای اعمال مدل‌های غیر خطی مختلف ابتدا، یک اثر تصادفی کلی، "u"، (که به نوعی بیانگر اثر تصادفی فردی هر حیوان بود) با فرض ثابت بودن تمامی پارامترهای مدل غیر خطی در نظر گرفته شد. سپس، با پیدا شدن بهترین مدل‌ها در مرحله اول، در ادامه مرحله به مرحله یکی از پارامترها به عنوان اثر تصادفی در نظر گرفته شده و سایر پارامترها به شکل اثرات ثابت مدل‌سازی شدند. در مرحله بعد پارامترها به صورت دوتایی (B, k و $A, B-A, K$) به عنوان اثرات تصادفی در نظر گرفته شدند، در حالی که بقیه پارامترها به عنوان اثر ثابت بود و در مرحله آخر، تمام پارامترهای مدل به عنوان اثرات تصادفی مورد برازش قرار گرفتند. به منظور برآورد منحنی رشد در جوجه‌های گوشتی سالم و مبتلا به آسیب از مدل‌های غیرخطی مختلف به شرح زیر استفاده شد (جدول ۱ و ۲).

جدول ۱. مدل‌های مورد استفاده جهت برازش منحنی رشد در جوجه‌های سالم و مبتلا به آسیت

توابع Functions	Random effect اثرات تصادفی	فرمول Formula
برودی Brody	non-linear model	$Y_t = A * (1 - B * e^{(-Kt)})$
	non-linear mixed model	$Y_t = u + A * (1 - B * e^{(-Kt)})$
لوگ لوجستیک Log-logistic	non-linear model	$Y_t = A / (1 + B * e^{(-K * \log(t))})$
	non-linear mixed model	$Y_t = u + A / (1 + B * e^{(-K * \log(t))})$
میتچرلیچ Mitscherlich	non-linear model	$Y_t = (A - B * K^t)$
	non-linear mixed model	$Y_t = u + (A - B * K^t)$
چاپمن ریچاردز Chapman-Richards	non-linear model	$Y_t = A * (1 - B * e^{(-Kt)})^{(\frac{1}{1-D})}$
	non-linear mixed model	$Y_t = u + A * (1 - B * e^{(-Kt)})^{(\frac{1}{1-D})}$
مورگان مرسر فلودین Morgan-Mercer-Flodin	non-linear model	$Y_t = ((A \times B) + Kt^D) / (B + t^D)$
	non-linear mixed model	$Y_t = u + ((A \times B) + Kt^D) / (B + t^D)$
ویبول Weibull	non-linear model	$Y_t = A - B \times e^{(-Kt^D)}$
	non-linear mixed model	$Y_t = u + A - B \times e^{(-Kt^D)}$
میر Meyer	non-linear model	$Y_t = A \times (1 - e^{(-Kt)})$
	non-linear mixed model	$Y_t = u + A \times (1 - e^{(-Kt)})$
مونومولکولار Monomolecular	non-linear model	$Y_t = A \times (1 - B e^{(-Kt)})$
	non-linear mixed model	$Y_t = u + A \times (1 - B e^{(-Kt)})$

جدول ۲. بهترین مدل‌ها با اثر تصادفی مورد استفاده جهت برازش منحنی رشد در جوجه‌های سالم و مبتلا به آسیت

توابع Functions	Random effect اثرات تصادفی	فرمول Formula
لوگ لوجستیک Log-logistic	A	$Y_t = (A + u1) / (1 + B * e^{(-K * \log(t))})$
	B	$Y_t = A / (1 + (B + u2) * e^{(-K * \log(t))})$
	K	$Y_t = A / (1 + B * e^{(-(K + u3) * \log(t))})$
	A and B	$Y_t = (A + u1) / (1 + (B + u2) * e^{(-K * \log(t))})$
	A and K	$Y_t = (A + u1) / (1 + B * e^{(-(K + u3) * \log(t))})$
	B and K	$Y_t = A / (1 + (B + u2) * e^{(-(K + u3) * \log(t))})$
	A, B and K	$Y_t = (A + u1) / (1 + (B + u2) * e^{(-(K + u3) * \log(t))})$
میتچرلیچ Mitscherlich	A	$Y_t = ((A + u1) - B * K^t) Y_t$
	B	$Y_t = (A - (B + u2) * K^t) Y_t$
	K	$Y_t = (A - B * (K + u3)^t) Y_t$
	A and B	$Y_t = ((A + u1) - (B + u2) * K^t) Y_t$
	A and K	$Y_t = ((A + u1) - B * (K + u3)^t) Y_t$
	B and K	$Y_t = (A - (B + u2) * (K + u3)^t) Y_t$
	A, B and K	$Y_t = ((A + u1) - (B + u2) * (K + u3)^t) Y_t$

Y_t وزن مشاهده شده در سن t ام (به روز)، A وزن مجانبی یا وزن بلوغ، B ثابت انتگرال‌گیری یا نرخ رشد، k نرخ بلوغ، D پارامتر شکل، t سن به روز، $u1$ و $u2$ و $u3$ اثرات تصادفی مرتبط با پارامترهای A ، B و K

تعیین بهترین مدل

داده‌ها ابتدا با استفاده از روش‌های تحلیل تک‌متغیره (Univariate) در نرم‌افزار SAS بررسی شدند تا وضعیت هر داده مورد ارزیابی قرار گیرد. برای تمامی جوجه‌ها به صورت مجزا، منحنی رشد ترسیم گردید و در طی این بررسی، داده‌هایی که به عنوان مقادیر پرت (Outlier) یا خارج از روند طبیعی بودند و معمولاً تغییرات قابل توجهی داشتند، شناسایی شده و در هر زمان رکوردبرداری حذف شدند. هدف از این کار حذف داده‌های نامعتبر یا غیر قابل اعتماد بود تا تحلیل‌های بعدی دقیق‌تر و قابل اعتمادتر انجام شود. در ادامه برای برازش توابع منحنی رشد و بدست آوردن پارامترها از رویه Nlmixed نرم افزار SAS نسخه

۹،۴ (SAS Institute Inc., 2016) استفاده شد. برای ارزیابی نیکویی برازش انواع مدل‌های غیرخطی مختلط از معیارهای ذیل استفاده گردید.

معیار آکایک (Akaike, 1974)

$$AIC^1 = n \times \log(SSR/n) + 2p$$

معیار آکایک تصحیح شده (Karaman et al., 2013)

$$AICC^2 = n \times \log(SSR/n) + 2pn / (n-p-1)$$

معیار اطلاعات بیزی (Schwarz et al., 1978)

$$BIC^3 = n \times \log(SSR/n) + p \times \log(n)$$

در این معادله‌ها SSR مجموع مربعات باقی مانده مدل، N تعداد مشاهدات و P تعداد پارامترهای موجود در مدل می‌باشد. مهمترین ویژگی‌های معیار آکایک، معیار اطلاعات بیزی و آکایک تصحیح شده این است که در برآورد آنها احتیاج به تعریف مدل کامل نیست. هر مدل بدون توجه به دیگر مدل‌ها، دارای یک AIC، BIC و AICC مختص به خودش می‌باشد. مدلی که دارای کمترین AIC، BIC و AICC است، به عنوان بهترین مدل در نظر گرفته می‌شود

یافته‌های پژوهش

میانگین وزن جوجه‌ها در گروه نرهای سالم در اغلب روزهای اندازه‌گیری شده بیشتر از گروه نرهای مبتلا به آسیت است، که نشان‌دهنده تأثیر منفی بیماری آسیت بر رشد نرها است. اما در مقابل تفاوت وزن بین ماده‌های سالم و آسیت به اندازه نرها مشهود نبود بررسی ضرایب تغییرات در طول پرورش جوجه‌ها نشان می‌دهد که در ابتدا، ضریب تغییرات در همه گروه‌ها افزایش می‌یابد (می‌تواند ناشی از تفاوت‌های فردی در سرعت رشد، دسترسی به غذا و شرایط محیطی باشد). سپس در اواخر دوره، این پراکندگی کاهش می‌یابد. با این حال، گروه‌های مبتلا به آسیت، به خصوص ماده‌ها، ضرایب تغییرات بالاتری دارند. این موضوع نشان‌دهنده تأثیر منفی و قابل توجه بیماری آسیت بر یکنواختی وزن و رشد جوجه‌ها است. آمارهای توصیفی داده‌های وزن بدن در سنین مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات، حداقل و حداکثر وزن مشاهده شده از بدو تولد تا ۴۵ روزگی.

سن (روز) Age (days)	گروه Group	تعداد Number	میانگین (گرم) Average(g)	انحراف معیار (گرم) (g)	حداقل (گرم) Minimum(g)	حداکثر (گرم) Maximum(g)	ضریب تغییرات % Coefficient of variation %
۱	نرسالم Healthy males	۳۱۶	۴۵/۴۵	۳/۹۵	۳۴/۰۰	۵۹/۰۰	۸/۷
۷		۳۱۲	۱۲۷/۶۹	۱۸/۷۹	۷۸/۰۰	۱۷۹/۰۰	۱۴/۷۲
۱۴		۳۰۲	۲۷۶/۶۰	۵۶/۱۰	۱۰۴/۰۰	۴۴۳/۰۰	۲۰/۲۸
۲۱		۲۹۸	۵۵۰/۰۸	۱۰۵/۲۱	۲۳۰/۰۰	۰۰۷۸۷	۱۹/۱۳
۲۸		۲۹۴	۹۹۵/۲۲	۱۷۴/۸۸	۴۲۰/۰۰	۱۳۸۰/۰۰	۱۷/۵۷
۳۵		۲۹۳	۱۵۸۵/۷۸	۲۵۷/۹۱	۴۷۰/۰۰	۲۱۵۰/۰۰	۱۶/۲۶
۴۲		۲۹۰	۲۲۵۵/۳۷	۳۱۹/۰۶	۱۱۴۰/۰۰	۳۰۲۵/۰۰	۱۴/۱۵
۴۵		۲۸۲	۲۴۶۵/۹۲	۳۵۴/۰۸	۱۲۶۵/۰۰	۳۱۷۰/۰۰	۱۴/۳۶
۱	نرمبتلا به آسیت Ascites males	۶۴	۴۴/۸۱	۳/۲۴	۳۹/۰۰	۵۲/۰۰	۷/۲۲
۷		۶۴	۱۲۸/۹۵	۱۹/۴۵	۸۸/۰۰	۱۸۴/۰۰	۱۵/۰۸
۱۴		۶۴	۲۸۰/۳۸	۴۷/۱۴	۲۱۲/۰۰	۳۹۷/۰۰	۱۶/۸۱
۲۱		۶۳	۵۵۸/۹۰	۹۵/۰۸	۳۸۰/۰۰	۷۵۰/۰۰	۱۷/۰۱
۲۸		۶۲	۹۹۸/۴۷	۱۸۵/۵۳	۴۳۰/۰۰	۱۲۸۰/۰۰	۱۸/۵۸
۳۵		۵۷	۱۴۹۰/۷۹	۳۱۰/۴۷	۶۰۰/۰۰	۲۱۰۰/۰۰	۲۰/۸۳
۴۲		۳۸	۲۰۰۰/۲۶	۳۱۶/۴۱	۱۱۲۵/۰۰	۲۹۵۰/۰۰	۱۵/۸۲

1. Akaike's Information Criterion
2. Corrected Akaike Information Criterion
3. Bayesian Information Criterion

سن (روز) Age (days)	گروه Group	تعداد Number	میانگین (گرم) Average(g)	انحراف معیار (گرم)	حداقل (گرم) Minimum(g)	حداکثر (گرم) Maximum(g)	ضریب تغییرات % Coefficient of variation%
۴۵		۳۰	۲۱۴۶/۱۷	۳۶۷/۹۸	۱۶۰۰/۰۰	۲۸۰۰/۰۰	۱۷/۱۵
۱		۴۲۴	۴۴/۹۲	۴/۱۳	۳۳/۰۰	۶۰/۰۰	۹/۲۰
۷		۴۱۶	۱۲۴/۰۶	۱۸/۶۱	۶۸/۰۰	۱۷۶/۰۰	۱۴/۶۵
۱۴		۴۰۸	۲۷۲/۳۷	۵۲/۷۷	۱۲۸/۰۰	۴۰۹/۰۰	۱۹/۳۸
۲۱	ماده سالم	۴۰۵	۵۴۴/۲۶	۹۴/۳۰	۳۰۰/۰۰	۸۵۵/۰۰	۱۷/۳۳
۲۸	Healthy females	۴۰۳	۹۵۳/۷۲	۱۴۹/۶۲	۴۳۷/۰۰	۱۴۸۵/۰۰	۱۵/۶۹
۳۵		۴۰۰	۱۴۸۱/۶۸	۲۰۳/۶۹	۸۱۰/۰۰	۲۲۰۰/۰۰	۱۳/۷۵
۴۲		۳۹۸	۲۰۶۶/۴۵	۲۴۹/۷۸	۱۰۷۰/۰۰	۲۹۰۰/۰۰	۱۲/۰۹
۴۵		۳۸۵	۲۳۰۲/۱۹	۲۸۰/۷۸	۱۲۰۵/۰۰	۳۳۵۰/۰۰	۱۲/۲۰
۱		۱۸	۴۵/۹۴	۳/۸۷	۳۹/۰۰	۵۵/۰۰	۸/۳۴
۷		۱۸	۱۳۹/۶۷	۱۵/۸۴	۱۱۰/۰۰	۱۶۱/۰۰	۱۱/۳۴
۱۴		۱۸	۲۸۷/۴۴	۴۳/۱۷	۲۰۷/۰۰	۳۶۵/۰۰	۱۵/۰۲
۲۱	ماده مبتلا به	۱۸	۵۶۲/۸۳	۱۰۲/۱۶	۳۲۰/۰۰	۷۴۰/۰۰	۱۸/۱۵
۲۸	آسیت	۱۷	۹۵۴/۴۱	۱۷۴/۹۵	۵۵۰/۰۰	۱۲۴۰/۰۰	۱۸/۳۳
۳۵	Ascites females	۱۴	۱۳۴۳/۲۱	۳۱۹/۰۴	۵۳۵/۰۰	۱۷۴۰/۰۰	۲۳/۷۵
۴۲		۸	۱۶۹۴/۳۸	۲۹۵/۷۶	۱۲۷۰/۰۰	۲۰۴۵/۰۰	۱۷/۴۶
۴۵		۱	۱۷۰۰/۰۰	۰/۰۰	۱۷۰۰/۰۰	۱۷۰۰/۰۰	۰/۰۰

با توجه به معیارهای AIC، AICC و BIC، مدل‌های غیرخطی مختلط با اثر تصادفی کلی برای گروه‌های مختلف حیوانی ارزیابی شدند. در گروه نر سالم، مدل میتچرلیچ AIC و BIC برابر با ۳۳۹۴۵، ۳۳۹۴۶ و نر مبتلا به آسیت با AIC، AICC و BIC به ترتیب ۷۰۱۲/۵۰، ۷۰۱۲/۷۰ و ۷۰۲۳/۳۰ بهترین برازش را نشان داد و همچنین MSE کمتری برای چهار گروه مختلف داشت. در گروه‌های ماده (سالم و مبتلا به آسیت)، مدل لوگ لجستیک با شاخص AIC برابر با ۴۱۰۶۱/۰۰ و ۱۴۶۸/۳۰، بهترین برازش را ارائه داد و مدل برودی مقادیر AIC و MSE بزرگتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد که نشان‌دهنده عملکرد ضعیف‌تر آن در مقایسه با سایر مدل‌های مورد بررسی است (جدول ۴ و ۵).

جدول ۴. مقایسه‌ی میزان برازش مدل‌های غیرخطی در گروه‌های حیوانی مختلف با استفاده از معیارهای مختلف.

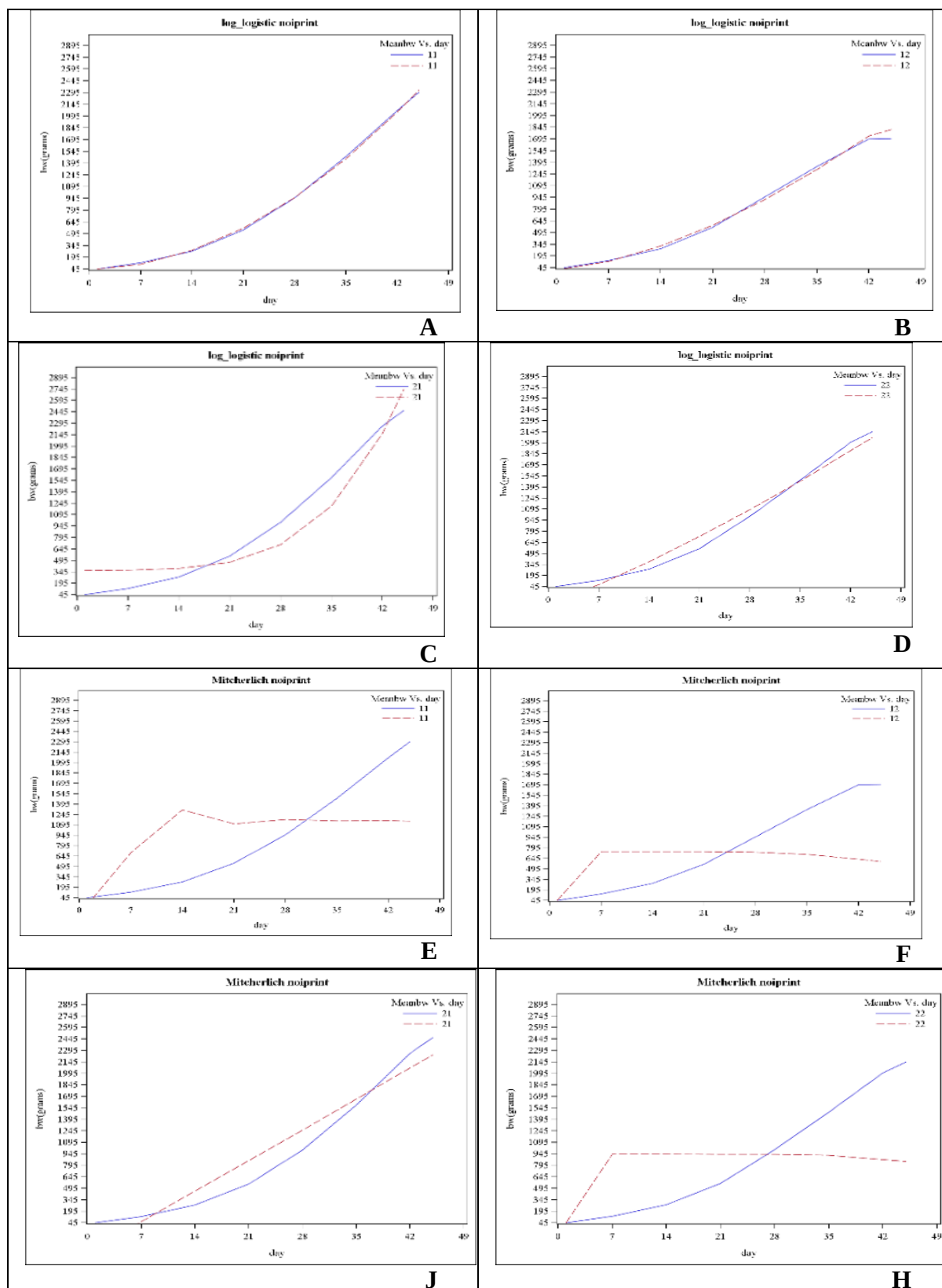
مدل‌های غیر خطی مختلط (Mixed nonlinear models)					
گروه (Group)	معیار (Criteria)	میتچرلیچ Mitscherlich	لوگ لجستیک Log Logistic	مورگان مرسر فلودین MMF	ویبول Weibull
نر سالم Healthy male	AIC	۳۳۹۴۵/۰۰	۷۱۶۰۴/۰۰	۳۵۳۰۲/۰۰	۲۴۴۵۳۴/۰۰
	AICC	۳۳۹۴۵/۰۰	۷۱۶۰۴/۰۰	۳۵۳۰۲/۰۰	۲۴۴۵۳۴/۰۰
	BIC	۳۳۹۴۶/۰۰	۷۱۶۲۳/۰۰	۳۵۳۲۴/۰۰	۲۴۴۵۵۶/۰۰
	MSE	۲۱۳۳۷۵/۰۰	۲۵۶۰۸/۶۰	۲۴۸۶۰/۹۰	۲۴۷۹۰/۷۰
نر مبتلا به آسیت Ascites male	AIC	۷۰۱۲/۵۰	۶۱۲۴/۰۰	۶۰۶۷/۴۰	۷۰۱۴/۵۰
	AICC	۷۰۱۲/۷۰	۶۱۲۴/۱۰	۶۰۶۷/۶۰	۷۰۱۴/۷۰
	BIC	۷۰۲۳/۳۰	۶۱۳۴/۸۰	۶۰۸۰/۴۰	۷۰۲۷/۵۰
	MSE	۴۲۵۰۶۵/۰۰	۲۶۸۲۴/۷۰	۲۶۶۰۴/۸۰	۲۶۵۹۳/۳۰
ماده سالم Healthy female	AIC	۵۱۶۵۰/۰۰	۴۱۰۶۱/۰۰	۴۳۵۱۰/۰۰	۵۲۱۹۹/۰۰
	AICC	۵۱۶۵۰/۰۰	۴۱۰۶۱/۰۰	۴۳۵۱۰/۰۰	۵۲۱۹۹/۰۰
	BIC	۵۱۶۷۰/۰۰	۴۱۰۸۲/۰۰	۴۳۵۲۵/۰۰	۵۲۲۲۴/۰۰
	MSE	۳۲۷۶۰/۱۰۰	۳۷۴۵۰/۳۰	۳۶۵۳۹/۲۰	۳۶۴۸۴/۶۰
ماده مبتلا به آسیت Ascites female	AIC	۱۷۱۵/۶۰	۱۴۶۸/۳۰	۱۴۸۱/۹۰	۱۴۸۶/۳۰
	AICC	۱۷۱۶/۲۰	۱۴۶۸/۹۰	۱۴۸۲/۷۰	۱۴۸۷/۱۰
	BIC	۱۷۲۰/۰۰	۱۴۷۲/۸۰	۱۴۸۷/۳۰	۱۴۹۱/۶۰

جدول ۵. مقایسه‌ی میزان برازش مدل‌های غیرخطی در گروه‌های حیوانی مختلف با استفاده از معیارهای مختلف.					
مدل‌های غیر خطی مختلط (Mixed nonlinear models)					
گروه (Group)	معیار (Criteria)	برودی Brody	میر Meyer	چاپمن ریچاردز Chapman Richards	مونومولکولار Monomolecular
نر سالم Healthy male	AIC	۶۱۷۰۰۰۰/۰۰	۴۷۶۰۰۰۰/۰۰	۲۴۸۰۰۰۰/۰۰	۳۰۹۰۰۰۰/۰۰
	AICC	۶۱۷۰۰۰۰/۰۰	۴۷۶۰۰۰۰/۰۰	۲۴۸۰۰۰۰/۰۰	۳۰۹۰۰۰۰/۰۰
	BIC	۶۱۷۰۰۰۰/۰۰	۴۷۶۰۰۰۰/۰۰	۲۴۸۰۰۰۰/۰۰	۳۰۹۰۰۰۰/۰۰
نر مبتلا به آسیت Ascites male	MSE	۳۶۱۴۸/۵۰	۴۲۶۸۴/۱۰	۳۰۹۸۶۶/۰۰	۳۰۹۸۶۶/۰۰
	AIC	۶۳۹۰۰۰۰/۰۰	۶۹۲۲۰/۱۰۰	۳۸۰۵۱۵/۰۰	۴۶۹۸۹۲/۰۰
	AICC	۶۳۹۰۰۰۰/۰۰	۶۹۲۲۰/۱۰۰	۳۸۰۵۱۵/۰۰	۴۶۹۸۹۲/۰۰
ماده سالم Healthy female	BIC	۶۳۹۰۰۰۰/۰۰	۶۹۲۲۰/۹۰۰	۳۸۰۵۲۸/۰۰	۴۶۹۹۰۳/۰۰
	MSE	۶۵۹۰۹/۳۰	۹۱۷۶۲/۸۰	۷۰۴۶۳۸/۰۰	۷۰۴۶۳۸/۰۰
	AIC	۵۵۱۰۰۰۰/۰۰	۵۸۱۰۰۰۰/۰۰	۳۱۱۰۰۰۰/۰۰	۵۴۷۶۰/۰۰
ماده مبتلا به آسیت Ascites female	AICC	۵۵۱۰۰۰۰/۰۰	۵۸۱۰۰۰۰/۰۰	۳۱۱۰۰۰۰/۰۰	۵۴۷۶۰/۰۰
	BIC	۵۵۱۰۰۰۰/۰۰	۵۸۱۰۰۰۰/۰۰	۳۱۱۰۰۰۰/۰۰	۵۴۷۸۱/۰۰
	MSE	۶۳۳۷۲/۰۰	۸۱۵۰۶/۵۰	۵۴۶۱۶۰/۰۰	۵۴۶۱۶۰/۰۰
	AIC	۲۲۳۳۳/۰۰	۱۲۶۵۶/۰۰	۳۱۰۲۲/۰۰	۱۷۵۳/۵۰
	AICC	۲۲۳۳۴/۰۰	۱۲۶۵۶/۰۰	۳۱۰۲۲/۰۰	۱۷۵۴/۰۰
	BIC	۲۲۳۳۸/۰۰	۱۲۶۶۰/۰۰	۳۱۰۲۷/۰۰	۱۷۵۷/۹۰
	MSE	۹۲۴۳۲/۳۰	۱۲۵۶۵۰/۰۰	۸۴۰۰۹۳/۰۰	۸۴۰۰۹۳/۰۰

با توجه به نتایج حاصل از بررسی مدل‌های لوگ لجستیک و میتچرلیچ با اعمال اثرات تصادفی بر پارامترهای A، B و K می‌توان نتیجه‌گیری کرد که انتخاب بهترین مدل به نوع مدل بستگی دارد. در مدل لوگ لجستیک بهترین عملکرد با در نظر گرفتن اثرات تصادفی برای دو پارامتر B و K حاصل شد ($AIC = 53985$, $BIC = 54038$, $AICC = 53985$)؛ در حالی که اثر تصادفی پارامتر A (به تنهایی یا همراه با سایر پارامترها) باعث کاهش کیفیت برازش مدل می‌شود. در مقابل، مدل میتچرلیچ زمانی بهترین نتیجه را ارائه داد که اثرات تصادفی برای هر سه پارامتر A، B و K اعمال شد ($AIC = 49110$, $BIC = 49116$, $AICC = 49110$). این تفاوت نشان می‌دهد که پارامترهای مختلف در هر مدل نقش متفاوتی در توضیح واریانس داده‌ها دارند و اعمال اثرات تصادفی باید با توجه به ساختار و ویژگی‌های خاص هر مدل انجام شود تا بهترین برازش حاصل شود (جدول ۶) و منحنی رشد این توابع در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۶. معیار ارزیابی بهترین مدل‌های غیرخطی مختلط با در نظر گرفتن اثر تصادفی برای پارامترهای مختلف.

لوگ لجستیک Log Logistic			میتچرلیچ Mitscherlich			Random effect اثر تصادفی برای پارامترهای
AIC	AICC	BIC	AIC	AICC	BIC	
۳۳۶۸۵۲	۳۳۶۸۵۲	۳۳۶۸۹۷	۳۵۰۹۵۰	۳۵۰۹۵۰	۳۵۰۹۹۳	A
۷۰۲۰۹	۷۰۲۰۹	۷۰۲۵۴	۱۷۵۳۱	۱۷۵۳۱	۱۷۵۳۱	B
۱۰۳۸۶۸	۱۰۳۸۶۸	۱۰۳۹۱۳	۱۱۶۶۳۷	۱۱۶۶۳۷	۱۱۶۶۸۱	K
۱۷۳۴۱۴	۱۷۳۴۱۴	۱۷۳۴۶۷	۲۳۵۲۹	۲۳۵۲۹	۲۳۵۲۹	A, B
۲۴۶۷۸۹	۲۴۶۷۸۹	۲۴۶۸۴۲	۹۴۷۰۳۶	۹۴۷۰۳۶	۹۴۷۰۸۷	A, K
۵۳۹۸۵	۵۳۹۸۵	۵۴۰۳۸	۱۱۵۳۱	۱۱۵۳۱	۱۱۵۳۱	B, K
۵۴۰۰۶	۵۴۰۰۶	۵۴۰۶۹	۴۹۱۱۰	۴۹۱۱۰	۴۹۱۱۶	A, B and K



شکل ۱. منحنی رشد بهترین مدل‌های غیر خطی (میتچرلیچ و لوگ لجستیک) که محور عمودی وزن بر حسب گرم و محور افقی سن بر حسب روز (۱۱): نرمیتلا به آسیت، ۱۲: نرسالم، ۲۱: ماده مبتلا به آسیت و ۲۲: ماده سالم (خط آبی مشاهده شده و خط قرمز پیش‌بینی شده وزن)

بحث

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدل‌های رشد لوگ لجستیک و میتچرلیچ با لحاظ اثر تصادفی کلی، به ترتیب برای توصیف رشد جوجه‌های ماده و نر، تحت شرایط سالم و مبتلا به آسیب، مناسب‌تر هستند. این یافته‌ها با مطالعه بیکی و همکاران (Beiki et al., 2013) که منحنی‌های رشد بلدرچین را با استفاده از هفت مدل رگرسیون غیر خطی (Hyperbolic1, Hyperbolic2, Hyperbolic3, Logistic, Richards, Gompertz و Von Bertalanffy) بررسی و گزارش کردند که منحنی رشد ریچاردز بهترین مدل برازش را برای داده‌های رشد بلدرچین است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت ندارد. براساس بررسی دیگری که توسط برارپور و همکاران (Barapur et al., 1399) انجام پذیرفت، منحنی رشد مرغ‌های بومی مازندران با استفاده از مدل‌های غیرخطی مختلط شامل گومپرتز، لجستیک، برودی، ورهالست، ریچاردز و ون برتالانی ارزیابی شد. یافته‌های تحقیق حاکی از این بود که مدل گومپرتز بهترین انطباق را با داده‌های مربوط به رشد مرغ‌های بومی مازندران دارد، در حالی که نتایج مطالعه حاضر با این یافته مطابقت ندارد. به علاوه، نتایج این پژوهش با یافته‌های برخی مطالعات پیشین (Mouffok et al., 2019; Nematzadeh et al., 2022; Mata-Estrada et al., 2020; Selvaggi et al., 2015; Vicente et al., 2020) که مدل‌های دیگری مانند گومپرتز، لجستیک یا ون برتالانی را پیشنهاد کرده‌اند، متفاوت است. تفاوت در نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین ممکن است به عوامل متعددی از جمله نژاد جوجه، شرایط محیطی، تغذیه، وجود بیماری، دوره سنی مورد مطالعه، تعداد و نوع پارامترهای مدل و نیز لحاظ کردن یا نکردن اثر تصادفی باشد.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مدل میتچرلیچ با سه پارامتر و اثر تصادفی بر همه پارامترها، توانایی بهتری در پیش‌بینی نرخ رشد و وزن بلوغ در جوجه‌های نر دارد. در حالی که مدل لوگ لجستیک با اثر تصادفی برای دو پارامتر (B و K)، برای پیش‌بینی نرخ بلوغ در جوجه‌های ماده مناسب‌تر است. این یافته‌ها با نتایج مطالعه جونیور و همکاران (Júnior et al., 2023) که به بررسی منحنی رشد بلدرچین با مدل‌های غیرخطی مختلط پرداختند که در تمام مدل‌ها، هنگام در نظر گرفتن پارامتر A به صورت پارامتر تصادفی، کاهش در برآورد این پارامتر وجود داشت، تا حدودی متفاوت است. در پژوهش دیگر ویسنته و همکاران (Vicente et al., 2020) به ارزیابی منحنی رشد مرغ‌های بومی با استفاده از مدل‌های غیرخطی گومپرتز، لجستیک و ون برتالانی و با گنجانیدن اثرات تصادفی پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که افزودن اثرات تصادفی به مدل، واریانس باقیمانده بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌دهد. بهترین برازش‌ها در تخمین منحنی رشد ماده‌ها، با مرتبط کردن اثرات تصادفی با سه پارامتر، مدل‌های گومپرتز و لجستیک به دست آمد. برای جوجه‌های نر نیز مدل لجستیک با اثرات تصادفی دو پارامتر (وزن مجانبی و نرخ بلوغ) و همچنین با اثرات تصادفی سه پارامتر، بهترین برازش را نشان داد. انتخاب مدل مناسب برای توصیف رشد طیور، به عوامل متعددی بستگی دارد و نیازمند بررسی دقیق و مقایسه مدل‌های مختلف بر اساس معیارهای آماری مناسب است.

نتایج این پژوهش و مطالعات پیشین نشان می‌دهند که انتخاب یک مدل واحد برای همه شرایط و نژادهای جوجه امکان‌پذیر نیست و برای هر مطالعه خاص، باید مدل مناسب بر اساس داده‌ها و اهداف پژوهش انتخاب شود. علاوه بر عوامل ذکر شده، عوامل ژنتیکی، جنسیت، و تعاملات بین عوامل مختلف نیز می‌توانند بر انتخاب مدل رشد موثر باشند. مطالعات آینده باید به بررسی دقیق‌تر این عوامل و تعاملات بین آنها بپردازند. نتایج این پژوهش به بهبود درک ما از الگوی رشد جوجه‌های سالم و مبتلا به آسیب کمک کرده و می‌تواند در برنامه‌ریزی تغذیه‌ای، مدیریت پرورش طیور و بهبود عملکرد تولید کمک شایانی کند. همچنین، این نتایج می‌توانند در توسعه مدل‌های پیش‌بینی‌کننده رشد و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های اصلاح نژاد مورد استفاده قرار گیرند.

در این پژوهش، مدل میتچرلیچ با در نظر گرفتن اثرات تصادفی برای پارامترهای A، B و K، کمترین مقدار معیارهای اطلاعاتی آکایک (AIC) و بیزی (BIC) را به ترتیب ۴۹۱۱۰ و ۴۹۱۷۶ نشان داد. این نشان‌دهنده برازش بهتر این مدل نسبت به سایر مدل‌های بررسی شده است. همچنین، مدل لوگ لجستیک با در نظر گرفتن اثرات تصادفی مشابه، کمترین مقدار معیار برازش را داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌های رشد غیرخطی لوگ لجستیک و میتچرلیچ با اثر تصادفی کلی، به ترتیب برای توصیف رشد جوجه‌های ماده و نر از نژاد آرین، چه سالم و چه مبتلا به آسیت، بهترین برازش را با داده‌های وزن بدن دارند. این یافته حاکی از آن است که بیماری آسیت تأثیر مستقیمی بر روند رشد جوجه‌ها ندارد، جنسیت عامل مهم و تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری این الگوهای رشدی متفاوت است و مدل‌های غیرخطی به خوبی قادر به توصیف این تفاوت‌ها هستند. مقایسه میانگین وزن بدن جوجه‌های آرین با سایر نژادهای تجاری نشان داد که نژاد آرین رشد کمتری دارد. این یافته می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد، از جمله عوامل ژنتیکی، شرایط محیطی پرورش، تغذیه و یا ترکیب این عوامل. برای بررسی دقیق‌تر علت این تفاوت، نیاز به مطالعات بیشتر است. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که شیوع بیماری آسیت در جوجه‌های نر نژاد آرین به طور قابل توجهی بیشتر از جوجه‌های ماده است. این یافته نشان می‌دهد که جنس یکی از عوامل مهم در بروز بیماری آسیت در این نژاد است. عوامل دیگری مانند دمای بالای محیط، روشی مداوم، تهویه نامناسب، ارتفاعات بالا و رژیم‌های غذایی پرانرژی به شکل پلت و عوامل ژنتیکی نیز می‌توانند در بروز این بیماری نقش داشته باشند.

منابع

برارپور، م.، قلی‌زاده، م.، حافظیان، ح.، فرهادی، ا. ۱۳۹۹. مقایسه برخی مدل‌های آماری غیر خطی در توصیف منحنی رشد مرغان بومی مازندران. ۱۲ (۳۳): ۱۳۲-۱۳۸.

REFERENCES

- Aggrey, S.E. (2009). Logistic nonlinear mixed effects model for estimating growth parameters. *Poultry Science*, 88(2), 276-280.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716-723. doi: 10.1109/TAC.1974.1100705
- Aliabad, A. J., Seyedabadi, H., & Dezfali, B. T. (2011). Association of insulin-like growth Factor-I gene with body composition traits in Iranian commercial broiler lines 71-76. 14:
- Baghban Zadeh, A., & Decuypere, E. (2008). Ascites syndrome in broilers: physiological and nutritional perspectives. *Avian Pathology*, 37(2), 117-126. doi: 10.1080/03079450801902062
- Balog, J. M., Anthony, N. B., Cooper, M. A., Kidd, B. D., Huff, G. R., Huff, W. E., & Rath, N. C. (2000). Ascites syndrome and related pathologies in feed restricted broilers raised in a hypobaric chamber. *Poultry Science*, 79(3), 318-323. doi: 10.1093/ps/79.3.318
- Beiki, H., Pakdel, A., Moradi-shahrbabak, M., & Mehrban, H. (2013). Evaluation of growth functions on Japanese quail lines. *Journal of Poultry Science*, 50(1), 20-27. doi: 10.2141/jpsa.0110142
- Chapman, M. E., & Wideman Jr, R. F. (2001). Pulmonary wedge pressures confirm pulmonary hypertension in broilers is initiated by an excessive pulmonary arterial (precapillary) resistance. *Poultry Science*, 80(4), 468-473. doi: 10.1093/ps/80.4.468
- Druyan, S., Shinder, D., Shlosberg, A., Cahaner, A., & Yahav, S. (2009). Physiological parameters in broiler lines divergently selected for the incidence of ascites. *Poultry Science*, 88(9), 1984-1990. doi: 10.3382/ps.2009-00116
- Dudouet, E. (1982). Theoretical lactation curve of the goat and its applications 53-61.
- Fitzhugh, H. A. (1976). Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science*, 42(5), 1036-1051. doi: 10.2527/jas1976.4241036x
- Galeano-Vasco, L. F., Cerón-Muñoz, M. F., & Narváez-Solarte, W. (2014). Ability of non-linear mixed models to predict growth in laying hens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 43(11), 573-578. doi: 10.1590/S1516-35982014001100003
- Gibson, J. P., & Bishop, S. C. (2005). Use of molecular markers to enhance resistance of livestock to disease: a global approach. *Office International des Épidémiologies, Scientific and Technical Review*,

- 24(1), 343–353.
- Hall, D. B., & Clutter, M. (2004). Multivariate multilevel nonlinear mixed effects models for timber yield predictions. *Biometrics*, 60, 16–24.
- Hassanzadeh, M., Buyse, J., Toloei, T., & Decuypere, E. (2013). Ascites syndrome in broiler chickens: A review on the aspect of endogenous and exogenous factors interactions. *The Journal of Poultry Science*, 0130063. doi:10.2141/jpsa.0130063
- Hoffmann, I. (2009). The global plan of action for animal genetic resources and the conservation of poultry genetic resources. *World's Poultry Science Journal*, 65(2), 286-297.
- Hosseinpour Mashhadi, M., Elahi Torshizi, M., & Ehtesham Gharaee, Sh. (2017). Description of growth curve in male and female lambs of baluchi breed by application of nonlinear growth models. *Research on Animal Production*, 15, 155-160. (In Persian).
- Ibiapina Neto, V., Barbosa, F. J. V., Campelo, J. E. G., & Sarmento, J. L. R. (2020). Non-linear mixed models in the study of growth of naturalized chickens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49, e20190194. doi:10.37496/rbz4920190201
- Iqbal, F., Tariq, M. M., Eydurán, E., Waheed, A., Abbas, F., Ali, M., & Mustafa, Z. (2019). Fitting Nonlinear Growth Models on Weight in Mengali Sheep through Bayesian Inference. *Pakistan Journal of Zoology*, 51(2), 459-467. doi: 10.17582/journal.pjz/2019.51.2.459.466
- Julian, R. J. (2000). Physiological management and environmental triggers of the ascites syndrome: a review. *Avian Pathology*, 29(6), 519–527. doi:10.1080/03079450020016751
- Júnior, R.N.C.C., de Araújo, C.V., de Menezes, F.L., de Araújo, S.I., Pavan, N.L., Rocha-Silva, M., Silva, W.C.D., Felipe Marques, J.R., Maciel e Silva, A.G., de Menezes Chalkidis, H. and Júnior, J.D.B.L. (2023). Growth curve mixed nonlinear models in quails. *PLoS One*, 18(6), e0287056.
- Karaman, E., Narinc, D., Firat, M. Z., & Aksoy, T. (2013). Nonlinear mixed effects modeling of growth in Japanese quail. *Poultry Science*, 92(7), 1942-1948. doi: 10.3382/ps.2012-02896
- Keskin, I., Dag, B., Sariyel, V., & Gokmen, M. (2009). Estimation of growth curve parameters in Konya Merino sheep. *South African Journal of Animal Science*, 39(3), 163-169. doi:10.4314/sajas.v39i2.44390
- Kucuk, M., & Eydurán, E. (2009). The determination of the best growth model for Akkaraman and German Blackheaded Mutton X Akkaraman B. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(1), 90-92.
- Lahav, T., Atzmon, G., Blum, S., Ben-Ari, G., Weigend, S., Cahaner, A., Lavi, U., & Hillel, J. (2006). Marker-assisted selection based on a multi-trait economic index in chicken: experimental results and simulation. *Animal Genetics*, 37(5), 482–488. doi: 10.1111/j.1365-2052.2006. 01512.x
- Lawrence, T. L. J., Fowler, V. R., & Novakofski, J. E. (2012). Growth and puberty in breeding animals. In *Growth of farm animals* (pp. 270-289). CABI. doi:10.1079/9781780641461.0270
- Loibel, S., Andrade, M. G., do Val, J. B., & Freitas, A. R. D. (2010). Richards growth model and viability indicators for populations subject to interventions. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82, 1107-1126. doi:10.1590/S0001-37652010000400028
- Mandal, A., Roy, R., & Rout, P. K. (2008). Direct and maternal effects for body measurements at birth and weaning in Muzaffarnagari sheep of India. *Small Ruminant Research*, 75(2-3), 123-127. doi: 10.1016/j.smallrumres.2007.08.004
- Mata-Estrada, A., González-Cerón, F., Pro-Martínez, A., Torres-Hernández, G., Bautista-Ortega, J., Becerril-Pérez, C. M., & 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
- Mouffok, C., Semara, L., Ghoualmi, N., & Belkasmi, F. (2019). Comparison of Some Nonlinear Functions for Describing Broiler Growth Curves of Cobb500 Strain. *Poultry Science Journal*, 7(1), 51-61. doi:10.22069/psj.2019.15965.1386
- Nematzadeh, R., Alijani, S., Hasanpur, K., Olyayee, M., & Shodja, J. (2022). Comparison of different mathematical functions for fitting growth curves of ascitic and healthy broiler chickens. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 69(3), 289-295. doi: 10.33988/auvfd.842816

- Norris, D., Ngambi, J. W., Benyi, K., Makgahlela, M. L., Shimelis, H. A., & Nesamvuni, E. A. (2007). Analysis of growth curves of indigenous male Venda and Naked Neck chickens. *South African Journal of Animal Science*, 37(1), 21-26. doi:10.4314/sajas. v37i1.4021
- Olkowski, A. A., Nain, S., Wajnarowicz, C., Laarveld, B., Alcorn, J., & Ling, B. B. (2007). Comparative study of myocardial high energy phosphate substrate content in slow and fast-growing chicken and in chickens with heart failure and ascites. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 148(1), 230–238. doi: 10.1016/j.cbpa.2007.04.015
- Parveen, A., Jackson, C. D., Dey, S., Tarrant, K., Anthony, N., & Rhoads, D. D. (2020). Identification and validation of quantitative trait loci for ascites syndrome in broiler chickens using whole genome resequencing. *BMC Genetics*, 21(1), 1-10. doi: 10.1186/s12863-020-00859-x
- SAS Institute Inc. 2016. SAS/SHARE® 9.4: User's Guide, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Schwartz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*, 6(2), 461–464.
- Seifi Moroudi, R., Ansari Mahyari, S., Vaez Torshizi, R. and Ahmadi, H., 2020. Description of Growth Patterns in a Crossbred Population of Native× Commercial Broiler Chicken. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(6), pp.1449-1462.
- Selvaggi, M., Laudadio, V., Dario, C., & Tufarelli, V. (2015). Modelling growth curves in a nondescript Italian chicken breed: an opportunity to improve genetic and feeding strategies. *The Journal of Poultry Science*, 0150048. doi: 10.2141/jpsa.0150048
- Waheed, A., Khan, M. S., Safdar, A., & Sarwar, M. (2011). Estimation of growth curve parameters in Beetal goats. *Archiv Tierzucht*, 54(3), 287-296. doi: 10.5194/aab-54-287-2011
- Wideman, R. F., Rhoads, D. D., Erf, G. F., & Anthony, N. B. (2013). Pulmonary arterial hypertension (ascites syndrome) in broilers: a review. *Poultry Science*, 92(1), 64-83. doi: 10.3382/ps.2012-02745
- Lubritz, D. L., Smith, J. L., & McPherson, B. N. (1995). Heritability of ascites and the ratio of right to total ventricle weight in broiler breeder male lines. *Poultry Science*, 74(6), 1237–1241

معادل فارسی	معادل انگلیسی
فشار خون ریوی	Pulmonary hypertension syndrome
سندرم آسیت	Ascites syndrome
مدل‌های غیر خطی مختلط	Non-linear mixed model
مدل‌های غیر خطی	Non-linear model
معیار آکایک	Akaike's Information Criterion
معیار آکایک تصحیح شده	Corrected Akaike Information Criterion
معیار اطلاعات بیزی	Bayesian Information Criterion