

Predicting the growth curve of healthy and ascites Arian broiler chickens using nonlinear models

Extended Abstract

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.

Keywords: Ascites, growth curve, healthy chicken, log-logistic model

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

چکیده:

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 سویه تجاری آرین، 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 آرین 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 لوگ‌لجیستیک 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 (K و B، A) اثر تصادفی در نظر گرفته شده و مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. کمترین مقدار معیار برازش AIC و BIC برای مدل لوگ‌لجیستیک با دو پارامتر تصادفی (B، K) به ترتیب برابر با ۵۴۰۳۸، ۵۳۹۸۵ و بعد آن با سه پارامتر تصادفی (B، A و K) با مقادیر ۵۴۰۰۶، ۵۴۰۶۹ بودند. به طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که مدل میتچرلیچ برای جوجه‌های نر و مدل لوگ‌لجیستیک 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.

کلیدواژه: آسیت، جوجه سالم، منحنی رشد، مدل لوگ‌لجیستیک

Abstract

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.

Keywords: Ascites, growth curve, healthy chicken, log-logistic model

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^۱ (PHS) یا سندرم آسیت^۲ (AS) می‌باشد است 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

¹ Pulmonary hypertension syndrome

² Ascites syndrome

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

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^3) 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 ($NLMM^4$) 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 برازش‌شده 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، $NLMM$ ‌ها 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 و دقت 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).

³Non-linear model

⁴ Non-linear mixed model

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 هفتگی تا بیست و چهار هفتگی 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 برتالانی برای دستیابی به بهترین پیش‌بینی پارامترهای رشد که منحنی رشد را در یک جمعیت مرغ آمیخته (حاصل از تلاقی F2 مرغ گوشتی لاین آرین (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 اندازه‌گیری 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 مختلط مختلف و تعیین بهترین مدل بیانگر الگوی رشد طیور گوشتی سالم و مبتلا به آسیت 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 پرنده‌ها به آب و دان به صورت آزاد بود. پرنده‌ها 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 آسیت 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 مختلط برای چهار گروه از جوجه‌ها (نر سالم، نر مبتلا به آسیت، ماده سالم و ماده مبتلا به آسیت) مورد بررسی قرار گرفت. برای اعمال مدل‌های غیر خطی مختلط 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 (A, B, K و B, 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 آسیت از مدل‌های غیرخطی مختلط 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

Table1 - Used models to fit growth curves in healthy and ascetic chickens

توابع Functions	اثرات تصادفی Random effect	فرمول Formula
-----------------	----------------------------	---------------

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

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

Table 2 - The best models with random effects used for fitting growth curves in healthy and ascetic chickens.

فرمول Formula	اثرات تصادفی Random effect	توابع Functions
$Y_t = (A + u_1) / (1 + B * e^{(-K * \log(t))})$	A	لوگ لوجستیک Log-logistic
$Y_t = A / (1 + (B + u_2) * e^{(-K * \log(t))})$	B	
$Y_t = A / (1 + B * e^{(-(K + u_3) * \log(t))})$	K	
$Y_t = (A + u_1) / (1 + (B + u_2) * e^{(-K * \log(t))})$	A and B	
$Y_t = (A + u_1) / (1 + B * e^{(-(K + u_3) * \log(t))})$	A and K	
$Y_t = A / (1 + (B + u_2) * e^{(-(K + u_3) * \log(t))})$	B and K	
$Y_t = (A + u_1) / (1 + (B + u_2) * e^{(-(K + u_3) * \log(t))})$	A, B and K	
$Y_t = ((A + u_1) - B * K^t)$	A	میتچرلیچ Mitscherlich
$Y_t = (A - (B + u_2) * K^t)$	B	
$Y_t = (A - B * (K + u_3)^t)$	K	
$Y_t = ((A + u_1) - (B + u_2) * K^t)$	A and B	
$Y_t = ((A + u_1) - B * (K + u_3)^t)$	A and K	
$Y_t = (A - (B + u_2) * (K + u_3)^t)$	B and K	
$Y_t = ((A + u_1) - (B + u_2) * (K + u_3)^t)$	A, B and K	

Y_t وزن مشاهده شده در سن t ام (به روز)، A وزن مجانبی یا وزن بلوغ، B ثابت انتگرال گیری یا نرخ رشد، k نرخ بلوغ، D پارامتر شکل، t سن به روز، u_1 ، u_2 و u_3

اثرات تصادفی مرتبط با پارامترهای A، B و K

Y_t is the observed weight at age t (in days), A is the asymptotic weight or maturity weight, B is the integration constant or growth rate, k is the maturity rate, D is the shape parameter, t is the age in day and u_1 , u_2 , and u_3 are the random effects associated with the fixed effects A, B, and 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 رکوردداری 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)

$$AIC^5 = n \times \log(SSR/n) + 2p$$

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

$$AICC^6 = n \times \log(SSR/n) + 2pn / (n-p-1)$$

معیار اطلاعات بیزی (Schwarz et al., 1978)

$$BIC^7 = n \times \log(SSR/n) + p \times \log(n)$$

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.

Table3. Mean, standard deviation, coefficient of variation, minimum and maximum observed weight from birth to 45 days.

سین (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%
۱		۳۱۶	۴۵/۴۵	۳/۹۵	۳۴/۰۰	۵۹/۰۰	۸/۷

⁵Akaike's Information Criterion

⁶ Corrected Akaike Information Criterion

⁷ Bayesian Information Criterion

۱۴/۷۲	۱۷۹/۰۰	۷۸/۰۰	۱۸/۷۹	۱۲۷/۶۹	۳۱۲	۷
۲۰/۲۸	۴۴۳/۰۰	۱۰۴/۰۰	۵۶/۱۰	۲۷۶/۶۰	۳۰۲	۱۴
۱۹/۱۳	۰۰۷۸۷	۲۳۰/۰۰	۱۰۵/۲۱	۵۵۰/۰۸	۲۹۸	۲۱
۱۷/۵۷	۱۳۸۰/۰۰	۴۲۰/۰۰	۱۷۴/۸۸	۹۹۵/۲۲	۲۹۴	۲۸
۱۶/۲۶	۲۱۵۰/۰۰	۴۷۰/۰۰	۲۵۷/۹۱	۱۵۸۵/۷۸	۲۹۳	۳۵
۱۴/۱۵	۳۰۲۵/۰۰	۱۱۴۰/۰۰	۳۱۹/۰۶	۲۲۵۵/۳۷	۲۹۰	۴۲
۱۴/۳۶	۳۱۷۰/۰۰	۱۲۶۵/۰۰	۳۵۴/۰۸	۲۴۶۵/۹۲	۲۸۲	۴۵
۷/۲۲	۵۲/۰۰	۳۹/۰۰	۳/۲۴	۴۴/۸۱	۶۴	۱
۱۵/۰۸	۱۸۴/۰۰	۸۸/۰۰	۱۹/۴۵	۱۲۸/۹۵	۶۴	۷
۱۶/۸۱	۳۹۷/۰۰	۲۱۲/۰۰	۴۷/۱۴	۲۸۰/۳۸	۶۴	۱۴
۱۷/۰۱	۷۵۰/۰۰	۳۸۰/۰۰	۹۵/۰۸	۵۵۸/۹۰	۶۳	۲۱
۱۸/۵۸	۱۲۸۰/۰۰	۴۳۰/۰۰	۱۸۵/۵۳	۹۹۸/۴۷	۶۲	۲۸
۲۰/۸۳	۲۱۰۰/۰۰	۶۰۰/۰۰	۳۱۰/۴۷	۱۴۹۰/۷۹	۵۷	۳۵
۱۵/۸۲	۲۹۵۰/۰۰	۱۱۲۵/۰۰	۳۱۶/۴۱	۲۰۰۰/۲۶	۳۸	۴۲
۱۷/۱۵	۲۸۰۰/۰۰	۱۶۰۰/۰۰	۳۶۷/۹۸	۲۱۴۶/۱۷	۳۰	۴۵
۹/۲۰	۶۰/۰۰	۳۳/۰۰	۴/۱۳	۴۴/۹۲	۴۲۴	۱
۱۴/۶۵	۱۷۶/۰۰	۶۸/۰۰	۱۸/۶۱	۱۲۴/۰۶	۴۱۶	۷
۱۹/۳۸	۴۰۹/۰۰	۱۲۸/۰۰	۵۲/۷۷	۲۷۲/۳۷	۴۰۸	۱۴
۱۷/۳۳	۸۵۵/۰۰	۳۰۰/۰۰	۹۴/۳۰	۵۴۴/۲۶	۴۰۵	۲۱
۱۵/۶۹	۱۴۸۵/۰۰	۴۳۷/۰۰	۱۴۹/۶۲	۹۵۳/۷۲	۴۰۳	۲۸
۱۳/۷۵	۲۲۰۰/۰۰	۸۱۰/۰۰	۲۰۳/۶۹	۱۴۸۱/۶۸	۴۰۰	۳۵
۱۲/۰۹	۲۹۰۰/۰۰	۱۰۷۰/۰۰	۲۴۹/۷۸	۲۰۶۶/۴۵	۳۹۸	۴۲
۱۲/۲۰	۳۳۵۰/۰۰	۱۲۰۵/۰۰	۲۸۰/۷۸	۲۳۰۲/۱۹	۳۸۵	۴۵
۸/۳۴	۵۵/۰۰	۳۹/۰۰	۳/۸۷	۴۵/۹۴	۱۸	۱
۱۱/۳۴	۱۶۱/۰۰	۱۱۰/۰۰	۱۵/۸۴	۱۳۹/۶۷	۱۸	۷
۱۵/۰۲	۳۶۵/۰۰	۲۰۷/۰۰	۴۳/۱۷	۲۸۷/۴۴	۱۸	۱۴
۱۸/۱۵	۷۴۰/۰۰	۳۲۰/۰۰	۱۰۲/۱۶	۵۶۲/۸۳	۱۸	۲۱
۱۸/۳۳	۱۲۴۰/۰۰	۵۵۰/۰۰	۱۷۴/۹۵	۹۵۴/۴۱	۱۷	۲۸
۲۳/۷۵	۱۷۴۰/۰۰	۵۳۵/۰۰	۳۱۹/۰۴	۱۳۴۳/۲۱	۱۴	۳۵
۱۷/۴۶	۲۰۴۵/۰۰	۱۲۷۰/۰۰	۲۹۵/۷۶	۱۶۹۴/۳۸	۸	۴۲
۰/۰۰	۱۷۰۰/۰۰	۱۷۰۰/۰۰	۰/۰۰	۱۷۰۰/۰۰	۱	۴۵

با توجه به معیارهای AIC، AICC و BIC، مدل‌های غیرخطی مختلف 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.

Table 4. Comparison of the fit of nonlinear models in animal groups using different criteria in the conventional.

مدل‌های غیر خطی مختلف (Mixed nonlinear models)					
ویبول Weibull	مورگان مرسر فلودین	لوگ لجستیک Log Logistic	میتچرلیچ Mitscherlich	معیار (Criteria)	گروه (Group)

MMF					
۲۴۴۵۳۴/۰۰	۲۵۳۰۲/۰۰	۷۱۶۰۴/۰۰	۳۳۹۴۵/۰۰	AIC	نر سالم Healthy male
۲۴۴۵۳۴/۰۰	۲۵۳۰۲/۰۰	۷۱۶۰۴/۰۰	۳۳۹۴۵/۰۰	AICC	
۲۴۴۵۵۶/۰۰	۲۵۳۲۴/۰۰	۷۱۶۲۳/۰۰	۳۳۹۴۶/۰۰	BIC	
۲۴۷۹۰/۷۰	۲۴۸۶۰/۹۰	۲۵۶۰۸/۶۰	۲۱۳۳۷۵/۰۰	MSE	
۷۰۱۴/۵۰	۶۰۶۷/۴۰	۶۱۲۴/۰۰	۷۰۱۲/۵۰	AIC	نر مبتلا به آسیت Ascites male
۷۰۱۴/۷۰	۶۰۶۷/۶۰	۶۱۲۴/۱۰	۷۰۱۲/۷۰	AICC	
۷۰۲۷/۵۰	۶۰۸۰/۴۰	۶۱۳۴/۸۰	۷۰۲۳/۳۰	BIC	
۲۶۵۹۳/۳۰	۲۶۶۰۴/۸۰	۲۶۸۲۴/۷۰	۴۲۵۰۶۵/۰۰	MSE	
۵۲۱۹۹/۰۰	۴۳۵۱۰/۰۰	۴۱۰۶۱/۰۰	۵۱۶۵۰/۰۰	AIC	ماده سالم Healthy female
۵۲۱۹۹/۰۰	۴۳۵۱۰/۰۰	۴۱۰۶۱/۰۰	۵۱۶۵۰/۰۰	AICC	
۵۲۲۲۴/۰۰	۴۳۵۲۵/۰۰	۴۱۰۸۲/۰۰	۵۱۶۷۰/۰۰	BIC	
۳۶۴۸۴/۶۰	۳۶۵۳۹/۲۰	۳۷۴۵۰/۳۰	۳۲۷۶۰/۱۰۰	MSE	
۱۴۸۶/۳۰	۱۴۸۱/۹۰	۱۴۶۸/۳۰	۱۷۱۵/۶۰	AIC	ماده مبتلا به آسیت Ascites female
۱۴۸۷/۱۰	۱۴۸۲/۷۰	۱۴۶۸/۹۰	۱۷۱۶/۲۰	AICC	
۱۴۹۱/۶۰	۱۴۸۷/۳۰	۱۴۷۲/۸۰	۱۷۲۰/۰۰	BIC	
۴۱۳۷۰/۷۰	۴۱۴۲۱/۶۰	۴۲۰۰۴/۰۳	۵۲۹۳۲۸/۰۰	MSE	

جدول ۵. مقایسه‌ی میزان برازش مدل‌های غیرخطی در گروه‌های حیوانی مختلف با استفاده از معیارهای مختلف.

Table 5. Comparison of the fit of nonlinear models in animal groups using different criteria in the conventional.

مدل‌های غیر خطی مختلط (Mixed nonlinear models)					
مونومولکولار Monomolecular	چاپمن ریچاردز Chapman Richards	میر Meyer	برودی Brody	معیار (Criteria)	گروه (Group)
۳۰۹۰۰۰۰۰۰۰	۲۴۸۰۰۰۰۰۰۰	۴۷۶۰۰۰۰۰۰۰	۶۱۷۰۰۰۰۰۰۰	AIC	نر سالم Healthy male
۳۰۹۰۰۰۰۰۰۰	۲۴۸۰۰۰۰۰۰۰	۴۷۶۰۰۰۰۰۰۰	۶۱۷۰۰۰۰۰۰۰	AICC	
۳۰۹۰۰۰۰۰۰۰	۲۴۸۰۰۰۰۰۰۰	۴۷۶۰۰۰۰۰۰۰	۶۱۷۰۰۰۰۰۰۰	BIC	
۳۰۹۸۶۶/۰۰	۳۰۹۸۶۶/۰۰	۴۲۶۸۴/۱۰	۳۶۱۴۸/۵۰	MSE	

۴۶۹۸۹۲.۰۰	۳۸۰۵۱۵.۰۰	۶۹۳۲۰۱.۰۰	۶۳۹۰۰۰۰.۰۰	AIC	نر مبتلا به آسیت Ascites male
۴۶۹۸۹۲.۰۰	۳۸۰۵۱۵.۰۰	۶۹۳۲۰۱.۰۰	۶۳۹۰۰۰۰.۰۰	AICC	
۴۶۹۹۰۳.۰۰	۳۸۰۵۲۸.۰۰	۶۹۳۲۰۹.۰۰	۶۳۹۰۰۰۰.۰۰	BIC	
۷۰۴۶۳۸/۰۰	۷۰۴۶۳۸/۰۰	۹۱۷۶۲/۸۰	۶۵۹۰۹/۳۰	MSE	
۵۴۷۶۰.۰۰	۳۱۱۰۰۰۰.۰۰	۵۸۱۰۰۰۰.۰۰	۵۵۱۰۰۰۰.۰۰	AIC	ماده سالم Healthy female
۵۴۷۶۰.۰۰	۳۱۱۰۰۰۰.۰۰	۵۸۱۰۰۰۰.۰۰	۵۵۱۰۰۰۰.۰۰	AICC	
۵۴۷۸۱.۰۰	۳۱۱۰۰۰۰.۰۰	۵۸۱۰۰۰۰.۰۰	۵۵۱۰۰۰۰.۰۰	BIC	
۵۴۶۱۶۰/۰۰	۵۴۶۱۶۰/۰۰	۸۱۵۰۶/۵۰	۶۳۳۷۲/۰۰	MSE	
۱۷۵۳.۵۰	۳۱۰۲۱.۰۰	۱۲۶۵۶.۰۰	۲۲۳۳۳.۰۰	AIC	ماده مبتلا به آسیت Ascites female
۱۷۵۴.۰۰	۳۱۰۲۲.۰۰	۱۲۶۵۶.۰۰	۲۲۳۳۴.۰۰	AICC	
۱۷۵۷.۹۰	۳۱۰۲۷.۰۰	۱۲۶۶۰.۰۰	۲۲۳۳۸.۰۰	BIC	
۸۴۰۰۹۳/۰۰	۸۴۰۰۹۳/۰۰	۱۲۵۶۵۰/۰۰	۹۳۴۳۲/۳۰	MSE	

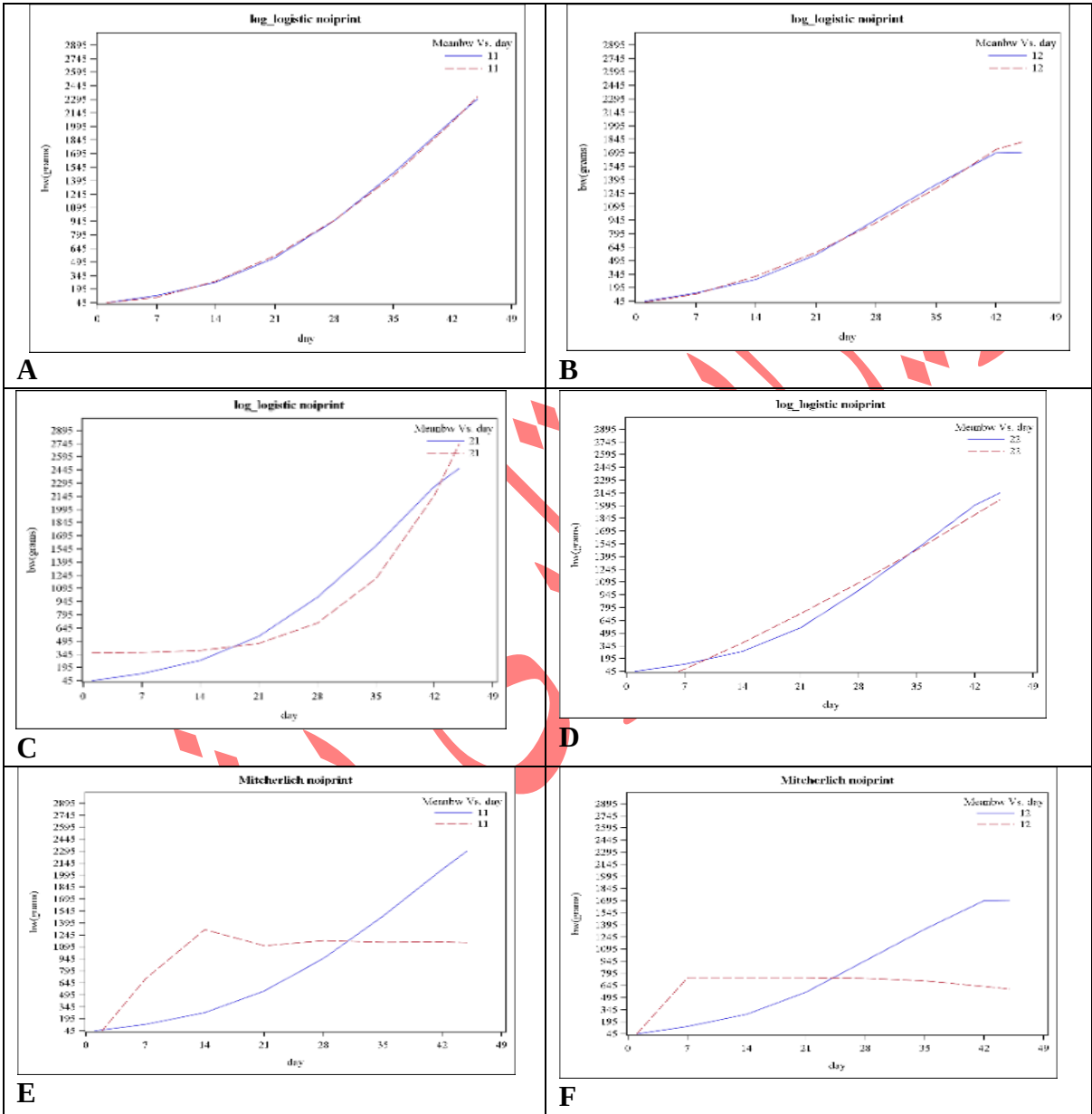
با توجه به نتایج حاصل از بررسی مدل‌های لوگ لجستیک و میتچرلیچ با اعمال اثرات تصادفی بر پارامترهای A، B و K می‌توان نتیجه‌گیری کرد که انتخاب بهترین مدل به نوع مدل بستگی دارد. در مدل لوگ لجستیک بهترین عملکرد با در نظر گرفتن اثرات تصادفی برای دو پارامتر B و K حاصل شد ($AIC = 53985$ ، $BIC = 54038$ ، $AICC = 53985$)؛ 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 ($AIC = 49110$ ، $BIC = 49176$ ، $AICC = 49110$). 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.

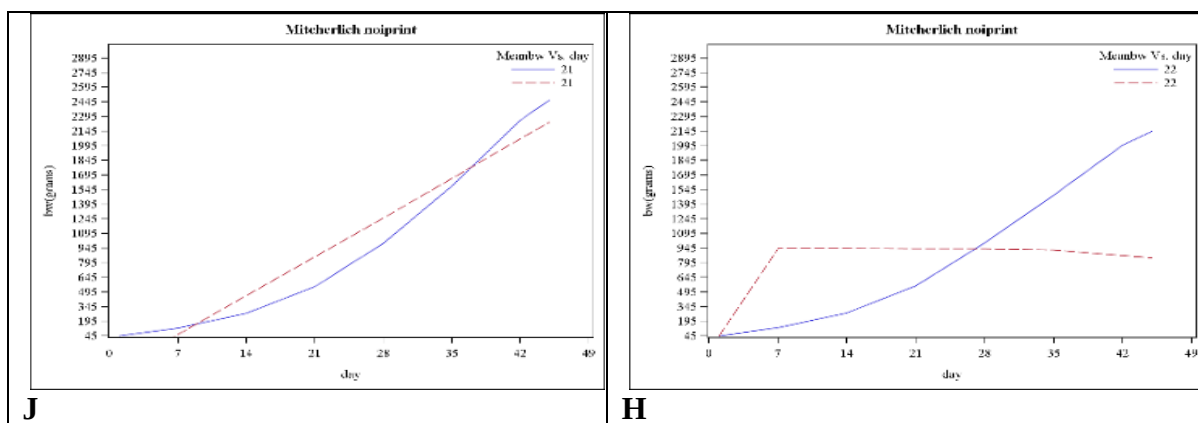
جدول ۶. معیار ارزیابی بهترین مدل‌های غیرخطی مختلط با در نظر گرفتن اثر تصادفی برای پارامترهای مختلف.

Table 6. Evaluation criteria for the best mixed nonlinear random effect models

میتچرلیچ Mitscherlich			لوگ لجستیک Log Logistic			Random effect اثر تصادفی برای پارامترهای
BIC	AICC	AIC	BIC	AICC	AIC	
۳۵۰۹۹۳	۳۵۰۹۵۰	۳۵۰۹۵۰	۳۳۶۸۹۷	۳۳۶۸۵۲	۳۳۶۸۵۲	A
۱۷E۳۱	۱۷E۳۱	۱۷E۳۱	۷۰۲۵۴	۷۰۲۰۹	۷۰۲۰۹	B
۱۱۶۶۸۱	۱۱۶۶۳۷	۱۱۶۶۳۷	۱۰۳۹۱۳	۱۰۳۸۶۸	۱۰۳۸۶۸	K
۲۳E۲۹	۲۳E۲۹	۲۳E۲۹	۱۷۲۴۶۷	۱۷۲۴۱۴	۱۷۲۴۱۴	A, B

947.17	947.36	947.36	246842	246789	246789	A, K
11E31	11E31	11E31	54.38	53985	53985	B, K
49176	4911.0	4911.0	54.69	54.06	54.06	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: نرمبتلا به آسیت، ۱۲: ترسالم، ۲۱: ماده مبتلا به آسیت و ۲۲: ماده سالم) (خط آبی مشاهده شده و خط قرمز پیش بینی 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 آسیت، 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, Logistic, Gompertz, Von Bertalanffy, Richards, Hyperbolic3) 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 برتالانفی 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 برتالانفی 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 (K و B)، 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 ویسته و همکاران (Vicente et al., 2020) به ارزیابی منحنی رشد مرغ‌های بومی با استفاده از مدل‌های غیرخطی گومپرتز، لجستیک و ون برتالانفی و با گنجاندن 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 آسیب، بهترین برازش را با داده‌های وزن بدن دارند. این یافته حاکی از آن است که بیماری آسیب 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 آسیب 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 آسیب در این نژاد است. عوامل دیگری مانند دمای بالای محیط، روشنایی 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، ج.، فرهادی، ا. ۱۳۹۹. مقایسه برخی مدل‌های آماری غیر خطی در توصیف منحنی رشد مرغان بومی مازندران ۱۲ (۳۳): ص ۱۳۲-۱۳۸.

- 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., & Decuyper, 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 Épidémies, 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., & Sarmiento, 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., Ghoulmi, 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