دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشهای تولیدات دامی

مقایسه مدل‌های غیرخطی برای توصیف منحنی رشد از تولد تا یکسالگی در بز مرخز

سید ضیاالدین میرحسینی[۱]، نوید قوی حسین‌زاده[۲] و فاطمه هادی‌نژاد[۳]

۱- استاد گروه علوم دامی، دانشگاه گیلان، (نویسنده مسوول: szmirhoseini@gmail.com)
۲ و ۳- دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم دامی، دانشگاه گیلان
تاریخ دریافت:۹۴/۹/۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱/۲۶

چکیده

هدف از این مطالعه انتخاب بهترین مدل از بین پنج تابع رشد غیرخطی برودی (Brody)، گومپرتز (Gompertz)، لجستیک (Logistic)، ون برتالانفی (Von Bertalanffy) و نمایی منفی (Negative Exponential) جهت توصیف منحنی رشد در بز مرخز بود. داده‌ها مشتمل بر رکوردهای وزن بدن از تولد تا یک‌سالگی ۵۵۵۷ راس بزغاله بود که طی سال‌های ۸۵ تا ۹۲ از ایستگاه تحقیقات بز مرخز واقع در سنندج جمع‌آوری شد. برآورد پارامترهای منحنی رشد A،B،K با استفاده از رویه NLIN برنامه SAS انجام شد و جهت مقایسه مدل‌های مختلف به منظور انتخاب بهترین مدل، آماره‌های ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{adj})، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیار اطلاعات آکاییک (AIC)، معیار اطلاعات بیزی (BIC) و معیار دوربین-واتسون (DW) محاسبه شد. در کل حیوانات، مدل رشد لجستیک با داشتن بالاترین میزان R^2_{adj} و کمترین میزان RMSE، AIC و معیار BIC نسبت به سایر مدل‌ها می‌تواند بهترین پیش‌بینی رشد در بز مرخز را نشان دهد. مدل‌های برودی، گومپرتز به ترتیب برای نرها و ماده‌ها و مدل لجستیک هم برای تک قلوها و هم برای دوقلوها به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی رشد انتخاب شد. در همه موارد چه برای کل حیوانات و چه برای نرها، ماده‌ها، تک‌قلوها و دوقلوها مدل نمایی منفی به عنوان نامناسب‌ترین مدل شناخته شد. مدل لجستیک می‌تواند بهترین توصیف از روند رشد بز مرخز در محدوده زمانی مشخص را ارائه کند.

واژه‌های کلیدی: بز مرخز، توابع رشد، مدل‌های غیر خطی، منحنی رشد، وزن بدن

مقدمه

بزها نقش مهمی در کشاورزی کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کنند به طوریکه بیش از ۹۰ درصد جمعیت بزها در این کشورها وجود دارد. در ایران بیش از ۲۷ میلیون راس بز با ۱۵-۱۰ اکوتیپ وجود دارد (۷). بز مرخز یکی از مهم‌ترین بزهای بومی است که در جنوب غربی استان آذربایجان غربی، بخش‌های غربی استان کردستان و شمال غرب استان کردستان پراکنده است. هدف اصلی پرورش این نژاد الیاف و در درجه دوم گوشت آن است (۱۹). با اینکه موهر تولیدی این حیوان نقش مهمی در فرهنگ کردستان برای تولید لباس‌های ملی دارد اما در سال‌های اخیر به علت کیفیت بالاتر گوشت آن نسبت به برخی فراورده‌های گوشتی، تقاضا برای گوشت آن رو به افزایش است، گوشت این حیوان به میزان ۶۰-۵۰ درصد چربی کمتری نسبت به گوشت گاو و به میزان ۴۰ درصد اسیدهای چرب کمتری نسبت به گوشت مرغ دارد (۳).

صفات رشد یکی از مهم‌ترین صفات دام‌های اهلی است که به لحاظ اقتصادی اهمیت فراوانی دارد. رشد به صورت افزایش در سایز بدن در واحد زمان تعریف می شود (۵،۱۲، ۱۴). رشد حیوان متأثر از عوامل ژنتیکی و محیطی است که توسط توابع غیر خطی Brody، Logistic، Gomprtz، Von Bertalanffy و Negative Exponential توضیح داده می‌شود (۱۶). در واقع مدل‌های رشد توابع رگرسیون غیرخطی‌اند که قادرند رشد را در زمان‌های مختلف طول عمر حیوان پیش‌بینی کنند (۱). مطالعه الگوی رشد به تعیین زمان ایده‌آل برای کشتار و همچنین برنامه تغذیه‌ای مناسب کمک می‌کند (۹). مزیت توابع رشد این است که اطلاعاتی از روند بیولوژیکی در طول فاز رشد حیوان و همچنین اهمیت آن در برنامه اصلاح نژادی در اختیار ما قرار می‌دهد (۱).

منحنی رشد ترسیمی از وزن- سن بر اساس یک تابع در زمان مشخص است. این منحنی تغییرات تدریجی وزن بدن را با گذشت زمان به دقت تشریح می‌کند. این منحنی‌ها غالباً به شکل سیگموییدی هستند. منحنی سیگموییدی سه فاز دارد: آغازین، افزایشی و سکون. در فاز اولیه رشد از نقطه‌ای خاص شروع می‌شود و به تدریج افزایش می‌یابد. در فاز دوم، منحنی از حالت خطی تغییر وضعیت داده و انحنا پیدا می‌کند (به شکل منحنی در می‌آید). در فاز آخر، وزن مجانبی حاصل می‌شود (۲۰). منحنی رشد کاربردهای چندگانه‌ای را ارائه می‌دهد. به طور مثال، ارزیابی واکنش‌های مجزای تیمارها در هر زمان، آنالیز آثار متقابل بین تیمارها در زمان و شناسایی حیوان سنگین‌تر در سن کمتر درون جمعیت (۱۰).

ازدمیر و دلال (۱۸) در پژوهشی روی منحنی رشد بز آنقوره (مرخز ایران)، بهترین الگوی منحنی رشد را لجستیک و گومپرتز معرفی و مقدار پارامترهای A، B و K را به ترتیب برای مدل لجستیک ۷۰/۲۰، ۴/۹۶ و ۰/۰۱۹ و همچنین ۲۳/۳۹، ۰/۹۱ و ۰/۰۰۶ برای مدل گومپرتز برآورد کردند. هر یک از منحنی‌های حاصله به شکل سیگموییدی بودند. مقدار ضریب تبیین (R^2_{adj}) به دست آمده در این مطالعه به ترتیب برای مدل لجستیک و گومپرتز ۰/۹۵۷ و ۰/۹۵۶ بود.

هدف از انجام این پژوهش بیان بهترین مدل توصیف کننده رشد با استفاده از توابع غیر خطی (برودی، لجستیک، گومپرتز، ون برتالانفی و نمایی منفی) است. با توجه به عدم انجام مطالعه در مورد برآورد پارامترهای ژنتیکی خصوصیات منحنی رشد در بز مرخز، انجام مطالعه در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از رکوردهای وزن بدن ۵۵۵۷ راس بزغاله که از سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ از ایستگاه تحقیقات سنندج جمع آوری شد، استفاده گردید. ویرایش و آماده‌سازی داده‌ها با نرم‌افزار Microsoft Visual Foxpro 8.0 انجام شد. ویرایش و نرمال‌سازی داده‌ها از طریق میانگین ± سه برابر انحراف معیار صورت گرفت. بعد از ویرایش و نرمال‌سازی، داده‌ها از مقدار ۵۵۵۷ به ۵۵۰۰ کاهش یافت. برآورد پارامترهای منحنی رشد A، B، K با استفاده از رویه NLIN برنامه آماری SAS انجام شد و ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{adj}) و معیار اطلاعات آکاییک (AIC)، معیار اطلاعات بیزی (BIC)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و معیار دوربین- واتسون (DW) محاسبه شد. خلاصه اطلاعات آماری در جدول ۱ ارائه شده است. مدل‌های مورد استفاده برای برازش بهترین مدل به همراه رابطه ریاضی مربوطه در جدول ۲ ارایه شده و همچنین آماره‌های مورد استفاده جهت تعیین بهترین و نامناسب‌ترین مدل در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات داده های مربوط به صفات رشد در بز مرخز

Table 1. Data characteristics for growth traits in Markhoz goat

وزن بدن	مشاهدات	میانگین (کیلوگرم)	حداقل (کیلوگرم)	حداکثر (کیلوگرم)	انحراف معیار (کیلوگرم)	ضریب تغییرات (٪)
تولد	۱۴۵۷	۲/۳۸	۱/۳۱	۳/۴۱	۰/۴۷	۲۰/۴۳
چهار ماهگی	۱۲۱۰	۱۴/۵۷	۳/۸۹	۳۱/۲۴	۴/۳۸	۳۰/۰۶
شش ماهگی	۱۰۴۱	۱۷/۴۲	۱/۴۲	۳۵/۱۸	۵/۹۳	۳۴/۰۴
نه ماهگی	۹۸۲	۱۹/۷۴	۷/۱۲	۳۷/۶۲	۴/۸۵	۲۴/۵۶
یکسالگی	۸۱۰	۲۲/۵۳	۸/۳۵	۴۴/۲۸	۲۲/۵۳	۳۰/۶۲

برآورد پارامترهای منحنی رشد

برای تشریح منحنی رشد حیوانات، اطلاعات وزن بدن در سنین مختلف با استفاده از مدل‌های غیرخطی Brody، Logistic، Gompertz، Von Bertalanffy و Negative Exponential برازش شدند.

با استفاده از رویه NLIN نرم‌افزار SAS (version 9.0) رکوردهای وزن بدن تمام بزغاله ها، بزغاله های نر و ماده و بزغاله های تک قلو و دوقلو به طور جداگانه توسط این پنج مدل برازش شدند و پارامترها تخمین زده شدند.

جدول ۲- مدل‌های مورد استفاده برای برازش منحنی رشد در بز مرخز

Table 2. Models used for fitting growth curve in Markhoz goat

مدل	فرمول
Brody	$W_t = A\ (1\text{-}Be^{-kt})$
Logistic	$W_t = A/\ (1+Be^{-kt})$
Gompertz	$W_t = Ae\ (\text{-}Be^{-kt})$
Von Bertalanffy	$W_t = A\ (1\text{-}Be^{-kt})^3$
Negative Exponential	$W_t = A\text{-}\ (Ae^{-kt})$

W_t: وزن مشاهده شده در سن t، A: وزن مجانبی، B: نسبت وزن بلوغ مجانبی به افزایش وزن، K: سرعت بلوغ.

تعداد پارامترها برای مدل‌های Brody، Logistic، Gompertz و Von Bertalanffy سه و شامل A، B و K می‌باشد و برای مدل Negative Exponential فقط دو پارامتر A و K می‌باشد.

تعیین بهترین مدل

تعیین بهترین مدل از بین پنج مدل غیر خطی برازش شده با استفاده از معیارهای زیر سنجیده می‌شود:

R_{adj}: ضریب تبیین تصحیح شده، RMSE: جذر میانگین مربعات خطا، AIC: معیار اطلاعات آکاییک، BIC: معیار اطلاعات بیزی DW: معیار دوربین- واتسون، دامنه عددی قابل قبول برای شاخص R^2 بین صفر تا یک است که هرچه به یک نزدیکتر باشد تعیین‌کننده مدل برتر است.

RMSE در واقع برآوردی از میزان خطا است که هرچه میزان آن کمتر باشد نشانه بهتر بودن مدل است. AIC شاخص مهمی برای برتری مدل‌ها از هم است که هرچه کوچکتر باشد، نشانه بهتر بودن مدل است. مقدار عددی BIC نیز هرچه کوچکتر باشد، نشانه برتری مدل است. DW برای شناسایی وجود خود همبستگی در باقی‌مانده‌های حاصل از آنالیز رگرسیون استفاده می‌شود. در واقع، وجود باقیمانده‌های خود همبسته نشان می‌دهد که ممکن است تابع برای داده‌ها مناسب نباشد. تغییرات شاخص دوربین- واتسون بین صفر تا ۴ است. مقادیر نزدیک به ۲ نشان‌دهنده نبود خود همبستگی است. مقدار نزدیک به صفر نشان‌دهنده خود همبستگی مثبت و مقدار نزدیک به ۴ نشان‌دهنده خودهمبستگی منفی است (۱۱).

جدول ۳- فرمول‌های مورد استفاده برای سنجش و تعیین بهترین مدل

Table 3. Formulas used for assessing and determining the best model

آماره	فرمول
R^2_{adj}	$1\text{-}\ [(N\text{-}1)\ /\ (N\text{-}P)]\ (1\text{-}R^2)$
AIC	$N\ln\ (RSS) + 2P$
BIC	$N\ln\ (RSS/N) + P\ln\ (N)$
RMSE	$RSS\ /\ \sqrt{N\text{-}P}$
DW	$\sum_{+}\ (et\text{-}(et\text{-}1))\ /\ \sum_{+}\ et^2$

N: تعداد کل مشاهدات، t: سن حیوان، P: تعداد پارامتر، RSS: مجموع مربعات باقیمانده، $[R^2 = 1\text{-}\ RSS/TSS]$ TSS: مجموع مربعات کل

نتایج و بحث

پارامترهای A، B، K و مقادیر آماره‌های R^2_{adj}، RMSE، AIC و BIC حاصل از برازش پنج مدل به ترتیب در جدول ۴ و ۵ ارائه شده است. برای کل حیوانات، مدل لجستیک با بالاترین مقدار R^2_{adj} (۰/۵۹۱۲)، معیار دوربین–واتسون DW (۱/۱۳۷۱) و کمترین مقدار RMSE (۱۳/۸۴۱۹)، AIC (۷۶۲۷۶/۴۶) و BIC (۱۰/۶۳) مناسب‌ترین مدل انتخاب شده است و مدل نمایی منفی با کمترین مقدار R^2_{adj} (۰/۵۸۷۲)، معیار دوربین–واتسون (۱/۱۲۵۸) و بالاترین مقدار RMSE (۱۳/۹۰۹۵)، AIC (۷۶۳۲۹/۰۵) و BIC (۲۸۹۷۳/۱۱) به عنوان نامناسب‌ترین مدل انتخاب شده است. بیشترین مقدار پارامتر A مربوط به مدل برودی (۲۳/۰۹) و کمترین مقدار K مربوط به مدل لجستیک بود (۲۱/۶۲). کمترین مقدار پارامتر B مربوط به مدل ون برتالانفی است (۰/۵۵) در حالیکه مدل لجستیک بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است (۱۰/۶۳). دامنه مقادیر K بین ۰/۰۰۸۹ تا ۰/۰۲۶۷ است که بیشترین میزان آن در لجستیک مشاهده می‌شود (جدول ۴).

در ماده‌ها مدل لجستیک به همگرایی نرسید. در نرها بهترین مدل انتخابی با توجه به مقدار R^2_{adj} بالاتر (۰/۹۳۷۶) و DW (۰/۹۲۸۱) و پایین‌تر بودن مقدار RMSE (۰/۷۵۸۳)، AIC (۳۱۳۲۵/۳۹) و BIC (۷۸۱۹/۰۹) مدل برودی بود، در جنس ماده مدل گومپرتز، با بالاترین R^2_{adj} (۰/۴۹۱۶) و DW (۱/۱۶۳۷) و پایین‌ترین RMSE (۱۹/۲۴)، AIC (۳۶۶۹۸/۵۸) و BIC (۱۵۷۴۸/۱۵) در تک‌قلوها مدل لجستیک با بالاترین R^2_{adj} (۰/۶۴۱۱) و DW (۱/۶۳۲۹) پایین‌ترین مقدار RMSE (۱۲/۹۴)،AIC (۴۰۶۱۵/۳۱) و BIC (۱۵۸۲۹/۵۱) و در دوقلوها نیز مدل لجستیک با بالاترین R^2_{adj} (۰/۵۲۲۴) و DW (۰/۸۴۸۸) و پایین‌ترین RMSE (۱۵/۱۹)، AIC (۳۰۴۶۴/۴۹) و BIC (۱۲۵۹۰/۷۷) به عنوان بهترین مدل انتخاب شده‌اند. در نرها و ماده‌ها و همچنین تک‌قلوها و دوقلوها مدل نمایی منفی به عنوان بدترین مدل شناخته شده است (جدول ۵). در مدل نمایی منفی فقط پارامترهای A و K منحنی رشد برازش می‌شود. گبانگبوچ و همکاران (۱۳) با مطالعه روی پارامترهای منحنی رشد در گوسفندان کوتوله غرب آفریقایی، میزان پارامتر A در مدل‌های غیرخطی را بین اعداد ۳۱ تا ۶۲/۵ برآورد کرد که بیشترین مقدار عددی این پارامتر مربوط به مدل Von Bertalanffy و کمترین مقدار آن مربوط به مدل Logistic بوده است. مالهادو و همکاران (۱۷) مقدار پارامتر A در گوسفندان حاصل از دورگیری Dorper با نژادهای Morada Nova، Rabo Largo و Santa Ines را بین ۲۹/۳۵–۳۲/۴۱ گزارش کردند که بیشترین میزان این پارامتر مختص مدل Brody و کمترین میزان به مدل Logistic اختصاص داشت. بن هومودا و آتی (۴) در گوسفند Babarine مقادیر بین ۰/۷۷۴–۰/۰۸۵– را برای پارامتر B برآورد کردند که مدل گومپرتز دارای بالاترین مقدار و مدل برودی پایین‌ترین مقدرا را دارا بود. ازدمیر و دلال (۱۸) در بز آنقوره مقدار پارامتر B را برای مدل لجستیک ۴/۹۶۶ و برای مدل گومپرتز ۰/۹۱۰ عنوان کردند. داسیلوا و همکاران (۶) در گوسفندان Santa Ines مقدار پارامتر K را برای مدل‌های مختلف بین ۰/۰۰۳–۰/۰۰۴۹۵ گزارش کردند. بن هومودا و آتی (۴) مقدار پارامتر K را برای مدل برودی کمترین مقدار ۰/۰۱۵ و برای مدل لجستیک بیشترین مقدار ۰/۰۵۷ در گوسفند Babarine گزارش کردند. آبگاز و همکاران (۲) مقدار پارامتر K را برای گوسفندان Horro با استفاده از مدل برودی ۰/۲۷ برآورد کردند.

جدول ۴- برآورد پارامترهای حاصل از برازش مدل‌های مختلف

Table 4. Estimated parameters obtained from different models

توضیحات	مدل	پارامتر A	پارامتر B	پارامتر K
کل بزغاله ها	برودی	۲۳/۰۹ ± ۰/۵۹۷۸	۰/۹۱ ± ۰/۰۱۶۰	۰/۰۰۸۹ ± ۰/۰۰۰۸
	لجستیک	۲۱/۶۲ ± ۰/۳۲۰۸	۱۰/۶۳ ± ۲/۱۱۸۷	۰/۰۲۶۷ ± ۰/۰۰۱۸
	گومپرتز	۲۲/۰۷ ± ۰/۳۹۰۱	۲/۴۱ ± ۰/۱۷۷۰	۰/۰۱۶۰ ± ۰/۰۰۱۰
	ون برتالانفی	۲۲/۳۱ ± ۰/۴۳۵۸	۰/۵۵ ± ۰/۰۲۶۳	۰/۰۱۳۳ ± ۰/۰۰۰۸
	نگاتیو نمایی	۲۲/۷۶ ± ۰/۵۳۵۲	–	۰/۰۰۹۸ ± ۰/۰۰۰۷
نرها	برودی	۲۱/۸۰ ± ۰/۳۱۰۵	۰/۹۰ ± ۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۶۸ ± ۰/۰۰۰۳
	لجستیک	۱۹/۳۴ ± ۰/۱۳۵۴	۶/۶۳ ± ۰/۳۸۶۹	۰/۰۲۱ ± ۰/۰۰۰۶
	گومپرتز	۲۰/۰۹ ± ۰/۱۷۲۴	۲/۱۶ ± ۰/۰۵۶۷	۰/۰۱۳۱ ± ۰/۰۰۰۳
	ون برتالانفی	۲۰/۵۰ ± ۰/۱۹۹۱	۰/۵۲ ± ۰/۰۰۰۳۰	۰/۰۱۰۸ ± ۰/۰۰۰۳
	نگاتیو نمایی	۲۱/۵۵ ± ۰/۲۵۸۱	–	۰/۰۰۸۴ ± ۰/۰۰۰۳
ماده ها	برودی	۲۵/۷۲ ± ۱/۰۹۱۲	۰/۹۲ ± ۰/۰۲۹۰	۰/۰۰۶۸ ± ۰/۰۰۱۴
	لجستیک	–	–	–
	گومپرتز	۲۵/۰۸ ± ۰/۷۴۸۲	۲/۸۵ ± ۰/۴۹۳۵	۰/۰۱۷۶ ± ۰/۰۰۱۹
	ون برتالانفی	۲۵/۲۳ ± ۰/۸۳۱۹	۰/۵۹ ± ۰/۰۵۵۹	۰/۰۱۴۳ ± ۰/۰۰۱۶
	نگاتیو نمایی	۲۵/۵۹ ± ۱/۰۱۵۵	–	۰/۰۱۰۵ ± ۰/۰۰۱۳
تک قلوها	برودی	۲۳/۳۵ ± ۰/۶۸۳۱	۰/۹۱ ± ۰/۰۱۹۹	۰/۰۰۹۵ ± ۰/۰۰۱۰
	لجستیک	۲۲/۱۰ ± ۰/۳۸۷۶	۹/۹۱ ± ۰/۳۴۹۳	۰/۰۲۶۹ ± ۰/۰۰۲۲
	گومپرتز	۲۲/۵۱ ± ۰/۴۶۳۵	۲/۳۸ ± ۰/۲۱۴۲	۰/۰۱۶۵ ± ۰/۰۰۱۲
	ون برتالانفی	۲۲/۷۳ ± ۰/۵۱۲۷	۰/۵۴ ± ۰/۰۳۲۲	۰/۰۱۳۸ ± ۰/۰۰۱۱
	نگاتیو نمایی	۲۳/۱۱ ± ۰/۶۱۸۴	–	۰/۰۱۰۵ ± ۰/۰۰۰۹
دوقلوها	برودی	۲۲/۴۱ ± ۱/۰۸۷۵	۰/۹۱ ± ۰/۰۲۷۵	۰/۰۰۸۵ ± ۰/۰۰۱۳
	لجستیک	۲۰/۹۵ ± ۰/۵۵۸۵	۱۲/۲۳ ± ۰/۷۷۷۹	۰/۰۲۷۱ ± ۰/۰۰۳۵
	گومپرتز	۲۱/۴۰ ± ۰/۶۹۰۶	۲/۴۴ ± ۰/۳۱۷۴	۰/۰۱۵۶ ± ۰/۰۰۱۷
	ون برتالانفی	۲۱/۶۶ ± ۰/۷۷۷۹	۰/۵۵ ± ۰/۰۴۵۹	۰/۰۱۲۹ ± ۰/۰۰۱۴
	نگاتیو نمایی	۲۲/۱۴ ± ۰/۹۶۶۷	–	۰/۰۰۹۵ ± ۰/۰۰۱۲

انتخاب بهترین مدل تشریح‌کننده رشد با استفاده از معیارهایی صورت می‌گیرد. این معیارها شامل: R^2_{adj}, RMSE, AIC, BIC, DW است. مدلی که R^2_{adj} بالاتر و میزان RMSE, AIC,BIC کمتر داشته باشد به عنوان مناسب ترین و بهترین مدل انتخاب می‌شود. جدول ۵ مقادیر معیارهای سنجش را برای هر یک از مدل‌ها تشریح کرده است.

گبانگبوچ و همکاران (۱۳) برای گوسفندان کوتوله آفریقایی مقادیر برآورد شده R^2_{adj} را بین ۰/۸۲۱۲–۰/۸۴۶۲ گزارش کردند. قوی حسین زاده (۱۱) مقدار R^2_{adj} را برای گوسفندان شال بین ۰/۹۶۳۴–۰/۹۶۷۷ گزارش کرد که بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب برای مدل‌های ریچاردز و نگاتیو نمایی بوده است. گبانگبوچ و همکاران (۱۳) در گوسفندان کوتوله آفریقایی RMSE را بین ۰/۰۶۶۲–۰/۴۵۵۷ گزارش کردند، کمترین مقدار این پارامتر برای مدل برودی و بیشترین مقدار آن برای مدل لجستیک برآورد شده است.

قوی حسین زاده (۱۱) مقدار RMSE را بین ۵/۲۶–۵/۶۰ در گوسفندان شال گزارش کرد که کمترین مقدار آن مربوط به مدل ریچاردز بود. قوی حسین‌زاده (۱۱) بیشترین مقدار AIC را برای مدل نگاتیو نمایی و کمترین مقدار را برای مدل ریچاردز در گوسفندان شال گزارش کرد. همچنین کمترین مقدار BIC را برای مدل ریچارد و بیشترین مقدار BIC را برای مدل نگاتیو نمایی گزارش کرد. همچنین در همان تحقیق روی گوسفندان شال، مقادیر DW را بین ۱/۰۳–۱/۱۷ گزارش شد که بالاترین مقدار مربوط به مدل ریچاردز و پایین ترین عدد مربوط به مدل نمایی منفی بوده است (۱۱). کسکین و همکاران (۱۵) مقادیر DW را برای گوسفندان مرینوس برای مدل‌های Quadratic, Cubic, Gompertz Logistic برای جنس نر به ترتیب ۰/۰،۷۷/۱،۹۶/۱،۴۰/۱۳ و برای جنس ماده به ترتیب ۰/۱،۷۹/۱،۰۰۷/۱،۴۳/۱۹ گزارش کردند.

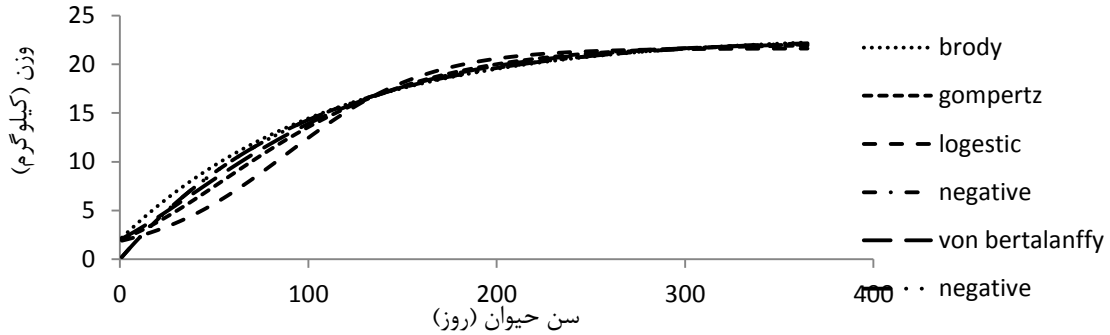
جدول ۵– مقادیر آماره‌های مورد استفاده جهت مقایسه مدل‌های مختلف

Table 5. Values of statistics used for comparison of different models

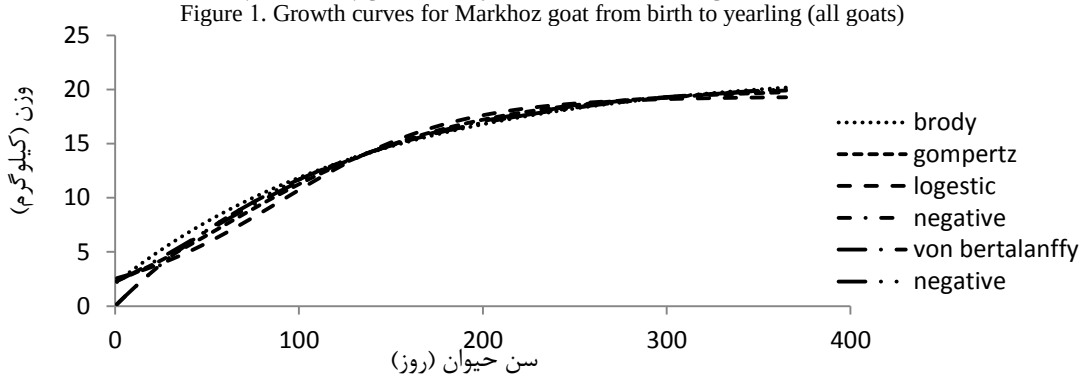
توضیحات	مدل	R^2_{adj}	RMSE	AIC	BIC	DW
	برودی	۰/۵۸۹۴	۱۳/۸۷۳۱	۷۶۳۰۱/۲۱	۲۸۹۵۲/۲۸	۱/۱۳۱۹
	لجستیک	**۰/۵۹۱۲**	**۱۳/۸٤۱۹**	**۷٦۲۷٦/٤٦**	**۲۸۹۲۷/۵۳**	**۱/۱۳۷۱**
کل بزغاله ها	گومپرتز	۰/۵۹۰۳	۱۳/۸۵۸۱	۷۶۲۸۹/۳۱	۲۸۹۴۰/۳۸	۱/۱۳۴۴
	ون برتالانفی	۰/۵۹۰۱	۱۳/۸۶۳۴	۷۶۲۹۳/۵۶	۲۸۹۴۴/۶۴	۱/۱۳۳۵
	نمایی منفی	۰/۵۸۷۲	۱۳/۹۰۹۵	۷۶۳۲۹/۰۵	۲۸۹۷۳/۵۱	۱/۱۲۵۸
	برودی	**۰/۹۳۷٦**	**۳/۷۵۸۳**	**۳۱۳۲۵/۳۹**	**۷۸۱۹/۰۹**	**۰/۹۲۸۱**
	لجستیک	۰/۹۳۵۳	۳/۸۲۶۸	۳۱۴۳۱/۷۷	۷۹۲۵/۴۷	۰/۸۹۵۷
نرها	گومپرتز	۰/۹۳۶۷	۳/۷۸۳۵	۳۱۳۶۴/۷۳	۷۸۵۸/۴۳	۰/۹۱۶۱
	ون برتالانفی	۰/۹۳۷۱	۳/۷۷۲۶	۳۱۳۴۷/۷۵	۷۸۴۱/۴۵	۰/۹۲۱۲
	نمایی منفی	۰/۹۳۲۷	۳/۹۰۲۳	۳۱۵۴۵/۸۳	۸۰۳۳/۵۴	۰/۸۶۰۲
	برودی	۰/۴۸۹۵	۱۹/۲۸۷۱	۳۶۷۰۹/۳۸	۱۵۷۵۸/۹۴	۱/۱۵۹۱
ماده ها	**گومپرتز**	**۰/٤۹۱٦**	**۱۹/۲٤۸۰**	**۳٦٦۹۸/۵۸**	**۱۵۷٤۸/۱۵**	**۱/۱٦۳۷**
	ون برتالانفی	۰/۴۹۰۸	۱۹/۲۶۳۴	۳۶۷۰۲/۸۳	۱۵۷۵۲/۴۱	۱/۱۶۱۹
	نمایی منفی	۰/۴۸۸۲	۱۹/۳۰۸۴	۳۶۷۱۴/۲۴	۱۵۷۶۷/۹۲	۱/۱۵۶۱
	برودی	۰/۶۳۹۸	۱۲/۹۶۶۲	۴۰۶۲۶/۸۴	۱۵۸۴۱/۰۴	۱/۶۲۶۷
	لجستیک	**۰/٦٤۱۱**	**۱۲/۹٤۲۰**	**٤۰٦۱۵/۳۰**	**۱۵۸۲۹/۵۱**	**۱/٦۳۲۹**
تک قلوها	گومپرتز	۰/۶۴۰۴	۱۲/۹۵۴۲	۴۰۶۲۱/۱۰	۱۵۸۳۵/۲۹	۱/۶۲۹۸
	ون برتالانفی	۰/۶۴۰۲	۱۲/۹۵۸۴	۴۰۶۲۳/۱۲	۱۵۸۳۷/۳۱	۱/۶۲۸۷
	نمایی منفی	۰/۶۳۷۵	۱۳/۰۰۴۸	۴۰۶۴۴/۱۹	۱۵۸۵۲/۳۶	۱/۶۱۶۶
	برودی	۰/۵۱۹۷	۱۵/۲۳۶۰	۳۰۴۷۱/۲۷	۱۲۶۰۳/۵۵	۰/۸۴۴۱
	لجستیک	**۰/۵۲۲٤**	**۱۵/۱۹۳۹**	**۳۰٤٦٤/٤۹**	**۱۲۵۹۰/۷۷**	**۰/۸٤۸۸**
دوقلوها	گومپرتز	۰/۵۲۰۹	۱۵/۲۱۶۸	۳۰۴۷۱/۴۳	۱۲۵۹۷/۷۱	۰/۸۴۶۳
	ون برتالانفی	۰/۵۲۰۵	۱۲/۲۲۳۸	۳۰۴۷۳/۵۸	۱۲۵۹۹/۸۶	۰/۸۴۵۵
	نمایی منفی	۰/۵۱۷۶	۱۲/۲۶۶۵	۳۰۴۸۵/۴۹	۱۲۶۰۶/۰۳	۰/۸۴۰۴

بهترین مدل به صورت برجسته مشخص شده است

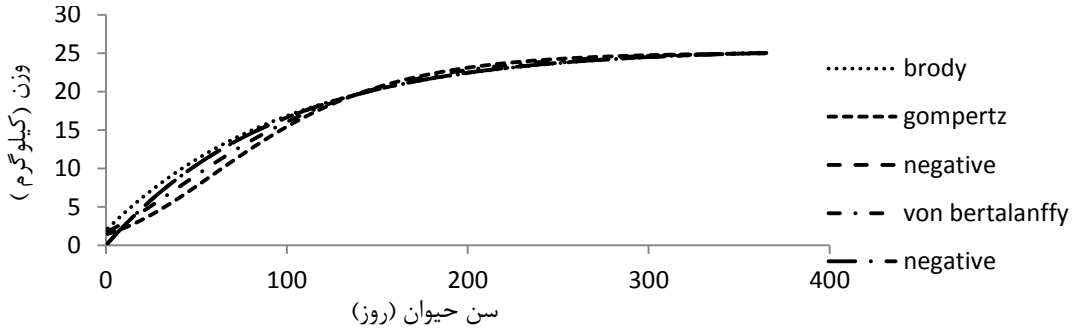
منحنی‌های رشد برآورد شده از هر پنج مدل در کل حیوانات به شکل منحنی سیگموییدی هستند (شکل ۱). منحنی‌های رشد حاصل از مدل‌های برازش شده در نرها (شکل ۲) و ماده‌ها (شکل ۳) و همچنین تک‌قلوها (شکل ۴) و دوقلوها (شکل ۵) نیز به صورت سیگموییدی هستند.



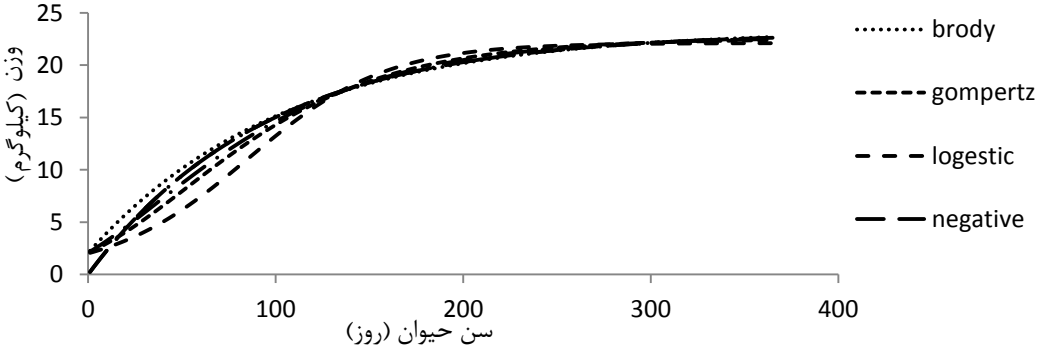
شکل ۱- منحنی‌های رشد برای بز مرخز از تولد تا یکسالگی (کل بزغاله ها)
Figure 1. Growth curves for Markhoz goat from birth to yearling (all goats)



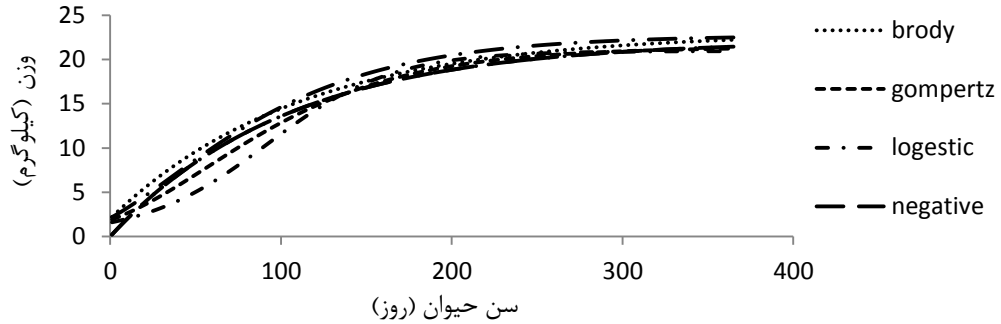
شکل ۲- منحنی‌های رشد برای بز مرخز از تولد تا یکسالگی(نرها)
Figure 2. Growth curves for Markhoz goat from birth to yearling (males)



شکل ۳- منحنی های رشد برای بز مرخز از تولد تا یکسالگی(ماده‌ها)
Figure 3. Growth curves for Markhoz goat from birth to yearling (females)



شکل ۴ - منحنی های رشد برای بز مرخز از تولد تا یکسالگی(تک قلوها)
Figure 4. Growth curves for Markhoz goat from birth to yearling (singletons)



شکل ۵ – منحنی‌های رشد برای بز مرخز از تولد تا یکسالگی(دوقلوها)
Figure 5. Growth curves for Markhoz goat from birth to yearling (twins)

طبق منحنی‌های به دست آمده در می‌یابیم که ماده‌ها و تک‌قلوها سنگین‌تر از نرها و دوقلوها هستند، که تفاوت در وزن نر و ماده به علت تفاوت‌های فیزیولوژی و هورمونی در دو جنس گزارش شده است (۸) و وزن پایین دوقلوها به علت تغذیه برای توسعه جنین‌های دوقلو و تولید شیر برای بره‌های تازه متولد شده تفسیر می‌شود که موافق با نظر آبگاز و همکاران (۲) است. در نهایت پیشنهاد می‌شود همبستگی ژنتیکی بین پارامترهای منحنی رشد با صفات تولیدی و تولیدمثلی در بز مرخز نیز بررسی شود. مدل لجستیک به عنوان بهترین مدل توصیف‌کننده رشد در بز مرخز انتخاب شد. پس از انتخاب مدل مناسب جهت توصیف رشد این نژاد، حائز اهمیت است تا استراتژی مناسبی، نظیر برنامه‌های انتخاب ژنتیکی، برای بدست آوردن شکل مناسب منحنی رشد از طریق تغییر پارامترهای منحنی رشد ارائه نمود.

منابع

1. Abegaz, A. and J.B. VAN WYK and J.J. Olivier. 2010. Estimation of genetic and phenotypic parameters of growth curve and their relationship with early growth and productivity in Horro sheep. ArchivTierzucht, 53(1): 85-94.
2. Addrizzo, J.R. 1992. Use of goat meat as therapeutic acids in cardiovascular diseases. www.smallstock.info/reference/meat-goat/handbook/health.
3. Bahreini Behzadi, H., A. Aslami Nejad and M. Ebrahim Zadeh. 2010. Estimation of non-liner growth models in growth prediction in Balouchi sheep The 4th Congress on Animal Science. University of Tehran.
4. Ben Hamoudaa, M. and N. Atti. 2011. Comparison of growth curves of lamb fat tail measurements and their relationship with body weight in Babarine sheep. Small Ruminant Research, 95: 120-127.
5. Blasco, A. 2001. The Bayesian controversy in Animal Breeding Animal Science. Journal of Animal Science, 79: 2023-2046.
6. Da Silva, L.S.A., A.B. Fraga, F.D.L. Da Silva, P.M.G. Beelen, R.M.D.O. Silva, H. Tonhati, C.D.C. Barros. 2012. Growth curve in Santa Ines sheep. Small Ruminant Research, 105: 182-185.
7. Dubeuf, J.P. and J. Boyazoglu. 2009. An international panorama of goat selection and breeds. Livestock Science, 120: 225-231.
8. Ebangi, A.L., L.N. Nwakalor and D. Abba. 1996. Factors affecting the birth weight and neonatal mortality of Massa and Fulbe sheep breed in a hot and dry environment, Cameroon. Revue d'Elevage et de Medecine Veterinaire des pays Tropicaux, 49: 349-353.
9. Fitzhugh, Jr.H.A.1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape Journal of Animal Science, 42: 1036-1051.
10. Freitas, A.R. 2005. Curvas de crescimento na produc¸ ão animal. Revista Brasileira Zootecnia, 34: 786-795.
11. Ghavi Hossein-Zadeh, N. 2015. Modeling the growth curve of Iranian Shall sheep using non-linear growth models. Small Ruminant Research, 130: 60-66.
12. Ghavi Hossein-Zadeh, N. 2015b. Genetic analysis of average daily gains and Kleiber ratios in Moghani sheep. Research on Animal Production, 6(11): 108-119 (In Persian).
13. Gbangboche, A.B., R. Glele-Kakai, S. Salifou, L.G. Albuquerque and P.L. Leroy. 2008. Comparison of non-liner growth models to describe the growth curve in West African Dwarf sheep. Animal, 2(7): 1003-1012.
14. Hosseinpour Mashhadi, M., M. Elahi Torshizi and S. Ehtesham Gharaee. 2017. Description of growth curve in male and female lambs of Baluchi breed by application of nonlinear growth models. Research on Animal Production, 8(15): 155-160 (In Persian).
15. Keskin, I., B. Dag, V. Sariyel and M. Gokmen. 2009. Estimation of growth curve parameters in Konya Merino sheep. South African Journal Animal Science, 39: 2 pp.
16. Kum, D., K. Karakus and T. Ozdemir. 2010. The best nonliner function for body weight at early phase of norduz female lambs. Trakia Journal Science, 8(2): 62-67.

17. Malhado, C.H.M., P.L.S. Carneiro, P.R.A.M Affonso, A.A.O. Souza and J.L.R. Sarmento. 2009. Growth curves in Dorper sheep crossed with the local Brazilian breeds, Morada Nova, Rabo Largo and Santa Inês. Small Ruminant Research, 84: 16-21.
18. Ozdemir H. and G. Dellal. 2009. Determination of growth curves in young angora goats. Tarim Bilimleri Dergisi, 15(4): 358-362.
19. Rashidi A., M. Ramezani and R.V. Torshizi. 2006. Genetic parameters estimation for growth traits and fleece weight in Markhoz goats. 8th World congress on Genetics Applied to livestock Production Belo Horizontes Brazil.
20. Waheed, A., M. Sajjad Khan, A. Safdar and M. Sarwar. 2011. Estimation of growth curve parameters in Beetal goats. Archiv Tierzucht, 54(3): 287-296.

Comparison of Non-Liner Growth Models to Describe the Growth Curve from Birth to Yearling in Markhoz Goat

Seyed Ziaeddin Mirhoseini[1], Navid Ghavi Hossein-Zadeh[2] and Fatemeh Hadinezhad[3]

1- Professor, Department of Animal Science, University of Guilan
(Corresponding author: szmirhoseini@gmail.com)
2 and 3- Associate Professor and M.Sc. Student, Department of Animal Science, University of Guilan
Received: November 28, 2015 Accepted: September 12, 2017

Abstract

The objective of this study was to select the best model among five non-linear growth functions, i.e., Brody, Gompertz, Logistic, Von Bertalanffy and Negative exponential for describing the growth curve in Markhoz goat. The data included 5557 body weight records of goats from birth to yearling which were collected during 2006 to 2013 at Sanandaj Research Station. Growth curve parameters (A, B, K) were estimated by the NLIN procedure of SAS program and in order to compare different models for selecting the best model, statistics of coefficient of determination (R^2_{adj}), Akaike´s Information Criterion (AIC), Bayesian Information Criterion (BIC), Root Mean Squares Error (RMSE) and Durbin-Watson were calculated. For all animals, Logistic model was the best model as provided the greatest R^2_{adj} and the lowest values of RMSE, AIC and BIC than other models and this model could indicate the best prediction of growth in Markhoz goat. The best selected models for predicting growth of males and females were Brody and Gompertz models, respectively; and Logistic model was selected as the best model for both singles and twins. The negative exponential model provided the worst fit of growth curve for all animals, males, females, singles and twins. Logistic model can provide the best prediction of growth pattern of Markhoz goat over a definite time period.

Keywords: Body weight, Growth curve, Growth functions, Markhoz goat, Non-liner models