

مقایسه مدل‌های غیر خطی جهت برآورد فراسنجه‌های رشد و برازش منحنی رشد بز راینی

روزبه کوشکی^{۱*}، آرش آذر فر^۲ و زهرا نوربخش^۳

شماره صفحات

۱۰۳-۹۱

(۱) دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک.

(۲) عضو هیئت علمی گروه علوم دامی دانشگاه لرستان.

(۳) دانش آموخته کارشناسی، گروه علوم دامی دانشگاه اراک.

*نویسنده مسئول: roozbehkooshki@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵

چکیده

هدف از انجام این مطالعه برازش منحنی رشد و برآورد فراسنجه‌های رشد بز راینی با استفاده از مدل‌های غیر خطی بود. به این منظور از رکوردهای مربوط به وزن بدن در سنین مختلف ۶۷۶۵ رأس بز نر و ماده راینی که توسط مدل‌های غیرخطی برودی، ون‌برتالنی، ورهالست، لجستیک و گمپرتز برازش شدند، استفاده شد. مدل‌های غیر خطی مورد مطالعه توسط ضریب تبیین (R^2)، میانگین مربعات خطا (MSE)، شاخص آکائیکی (AIC) و تعداد گردش مدل (Iteration) با هم مقایسه گردیدند. در بین مدل‌های مورد مطالعه، مدل برودی با داشتن بیش‌ترین ضریب تبیین و کم‌ترین میانگین مربعات خطا، شاخص آکائیکی و تعداد گردش مدل به‌عنوان مناسب‌ترین مدل جهت برازش منحنی رشد هر دو جنس بز راینی انتخاب گردید. دام‌های نر دارای وزن بلوغ (A) و ثابت رشد (B) بیش‌تری نسبت به دام‌های ماده بودند، اما نرخ رشد (K) آن‌ها کم‌تر از دام‌های ماده بود. بر اساس منحنی رشد برودی وزن زنده بز بالغ ماده از بز نر کم‌تر بود زیرا وزن زنده به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر جنس قرار دارد. وزن در نقطه عطف برای جنس ماده بین ۴/۸۰۰ تا ۷/۸۹۰ کیلوگرم و برای جنس نر بین ۵/۸۶۰ تا ۹/۵۵۰ کیلوگرم محاسبه شد، که به‌ترتیب حداقل و حداکثر وزن در نقطه عطف برای هر دو جنس توسط مدل ون‌برتالنی و لجستیک برآورد شد. حداقل و حداکثر سن در نقطه عطف به‌ترتیب توسط مدل ون‌برتالنی و مدل ورهالست برآورد شد. در کل و بر اساس نتایج به‌دست آمده مدل برودی قابلیت بیش‌تری جهت برازش منحنی رشد بز راینی برای هر دو جنس نر و ماده به‌منظور اهداف پرورشی و اصلاح نژادی دارد.

کلمات کلیدی: مدل‌های غیر خطی، منحنی رشد، برودی و بز راینی.

مقدمه

در بیش‌تر نقاط دنیا پرورش بز به‌منظور تولید گوشت، پوست و کرک با روش‌های سنتی انجام می‌گیرد. در مقایسه با دیگر نشخوارکنندگان اهلی، تا کنون به شرایط نگهداری و اصلاح نژاد بز بومی توجه نشده است. بز از سوئی با شرایط جوی نامساعد سازگار است و از سوی دیگر بیش از سایر حیوانات حلال گوشت مورد تحقیق قرار می‌گیرد (Msuodi & Azarfar, 2016). بز کرکی رائینی یکی از مهم‌ترین نژادهای بز در ایران است که به‌واسطه تولید کرک مرغوب و کیفیت بالا از ارزش اقتصادی بالایی در بازارهای جهانی برخوردار است. زیستگاه اصلی این حیوان حاشیه کویر و اطراف یزد تا حدود رایین کرمان و قسمت شرقی استان فارس است. در ایستگاه اصلاح نژاد بز کرکی رائینی، پرورش و توزیع بزهای نر انتخابی در بین دامداران مهم‌ترین هدف است (Asgari, 2009). تعداد بز در ایران در حدود ۱۶ میلیون راس برآورد شده است (Fao, 2017). در ایران حدود پنج میلیون بز مویی وجود دارد، بز رائینی یکی از بزهای مویی ایرانی است که به‌طور وسیع در استان کرمان زندگی می‌کنند که به‌طور معنی‌داری با اقتصاد کشاورزی منطقه در ارتباط است (Raafat & Shoja, 2004). بز رائینی هر ساله حدود ۲ کیلوگرم مو تولید می‌کند، همچنین به‌عنوان یک نژاد پرمحصول و مقاوم به بیماری‌های دستگاه گوارش، دام با ارزشی به حساب می‌آید (Moradi & ziae, 2012). در این منطقه، دامدارها بز را با هدف تولید گوشت، شیر و مو نگهداری می‌کنند اما تلاش کمی برای انتخاب و پرورش بزهای با کیفیت بهتر انجام می‌شود (ShamsAldini et al, 2012). رشد یکی از خصوصیات ضروری سیستم‌های بیولوژیکی است که با افزایش در اندازه بدن به ازاء واحد زمان تعریف می‌گردد و تحت تأثیر ترکیبی از اثرات ژنتیکی و محیطی می‌باشد (بحرینی بهزادی و همکاران، ۱۳۸۹). از جمله روش‌هایی که می‌توان اثرات مختلف را روی عملکرد یک حیوان از جمله میزان افزایش وزن پیش‌بینی و اندازه‌گیری نمود، استفاده از مدل‌های رشد است. در واقع مدل‌های رشد، توابع رگرسیون غیر خطی هستند که قادرند رشد را در زمان‌های مختلف طول عمر حیوان پیش‌بینی کنند (Bahreini et al, 2011). با توجه به اینکه پارامترهای مدل‌های غیرخطی از لحاظ فیزیولوژیکی دارای تفسیر می‌باشند، نسبت به مدل‌های خطی مناسب‌تر هستند (Ghadirian et al, 2012). تغییرات مدل‌های رگرسیونی غیرخطی در طول زمان می‌تواند یک منحنی رشد ریاضی ایجاد کند (Karakus et al, 2008). مدل سازی رشد موجودات زنده به‌طور وسیع در صد سال گذشته مورد بررسی قرار گرفته است. اساس این مطالعات توسط Brody (1945)، Von Bertalanffy (1957)، Richards (1959) و سایر دانشمندانی گذاشته شد که توانستند تعریف ریاضی از رشد بیولوژیکی ارائه کنند. سه فاز اصلی رشد بر روی نمودارها قابل تشخیص است: فاز سریع رشد، فاز خطی و فاز رشد کند که به بلوغ منتهی می‌شود (Kucuk & Eyduvan, 2010). تابع لجستیک، تابع ون‌برتالانفی، تابع گمپرتز و انواع مختلف توابع تعمیم یافته لجستیک از جمله توابع مهم و معروف هستند که جهت ترسیم منحنی رشد استفاده می‌شود (Msuodi & Azarfar, 2017). مدل‌های رشد غیرخطی اطلاعات مفیدی در ارتباط با مشکلات مدیریتی، سن مناسب کشتار، تنظیم رژیم غذایی و خصوصاً زمان رسیدن به بلوغ ارائه می‌کنند (Kor et al,

2006). تاکنون مدل‌های رشد غیرخطی مختلف روی حیواناتی مثل گوسفند (Bathaei & Leroy, 1998)، گاو (Kaps *et al*, 1999)، مرغ گوشتی (Masuodi & Azarfar, 2016) و بلدرچین (Gurcan *et al*, 2012) انجام شده است. Beyranvand *et al* (2018) برای برآورد فراسنجه‌های رشد گوسفند لری از مدل‌های غیرخطی برودی، گمپرتز، لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند و بیان داشتند که به ترتیب مدل برودی، لجستیک، گمپرتز و شبکه عصبی مصنوعی جهت برازش صفات رشد این دام مناسب است. Najari *et al* (2007) گزارش نمودند که مدل رشد گمپرتز مناسب‌ترین مدل رشد جهت ترسیم منحنی رشد بزغاله‌ها در سیستم پرورش تجاری است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش برآورد فراسنجه‌های رشد بز رائینی با استفاده از مدل‌های غیرخطی برودی، گمپرتز، لجستیک، ون برتالنفی و ورهالست می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به منظور برآورد پارامترهای الگوی رشد، از رکوردهای مربوط به وزن بدن در سنین مختلف (شامل وزن تولد، سه‌ماهگی، شش‌ماهگی، نه‌ماهگی و یک‌سالگی)، ۶۷۶۵ رأس بز رائینی که طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ توسط ایستگاه پرورش و اصلاح نژاد این دام و سایر گله‌های مردمی تحت پوشش این ایستگاه جمع‌آوری شده، استفاده شد. در این منطقه بارش سالانه بین ۱۸۰ تا ۳۲۰ میلی لیتر و دارای اقلیم گرم و خشک می‌باشد که دمای آن از منفی ۱۰ درجه در زمستان تا مثبت ۳۵ درجه در تابستان متغیر می‌باشد. در این سیستم پرورشی، دام‌های بالغ به همراه بزغاله‌ها تحت شرایط زیست محیطی طبیعی و با بهره‌گیری از مراتع نگهداری می‌شوند. در فصل زایش بزها در جایگاه بسته نگهداری می‌شوند. در هنگام زایش نیز بزغاله‌ها وزن شده و برای آن‌ها شماره گوش نصب می‌شود. مشخصات والدین، زمان تولد، جنسیت، نوع تولد و وزن تولد ثبت شده و بزغاله‌ها در دوره شیرخوارگی همراه با مادر نگهداری می‌گردد و بزغاله‌ها تا سن یک‌سالگی وزن‌کشی می‌شوند (Mohammadi *et al*, 2012). به منظور ذخیره، ویرایش و آماده‌سازی داده‌ها و تشکیل فایل‌های مورد نیاز از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ استفاده شد. داده‌های موجود برای هر کدام از وزن‌های مورد نیاز جهت آنالیز به صورت زیر گروه‌بندی گردیدند: وزن تولد: وزن اولیه (W_0)، وزن سه‌ماهگی: رکورد بین ۸۰ تا ۹۵ روزگی (W_1)، وزن شش‌ماهگی: رکورد بین ۱۷۵ تا ۱۹۰ روزگی (W_2)، وزن نه‌ماهگی: رکورد بین ۲۶۱ تا ۲۷۸ روزگی (W_3) و وزن یک‌سالگی: رکورد بین ۳۶۰ تا ۳۷۵ روزگی (W_4). پس از چندین بار بازبینی، اطلاعات مربوط به حیوانات دارای شماره نامشخص، ردیف‌های تکرار شده برای یک حیوان و نیز رکوردهای مربوط به حیواناتی که در اطلاعات مربوط به سال، ماه، روز تولد، جنسیت بره و نیز نوع تولد دارای نقص بودند، حذف شدند. خلاصه اطلاعات رکوردهای مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است. از پنج مدل غیرخطی برودی، ون برتالنفی، ورهالست، لجستیک و گمپرتز برای برازش صفات رشد بز رائینی استفاده گردید. تابع ریاضی این مدل‌ها و توابع وابسته آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس وزن بدن در سنین مختلف و با استفاده از مقادیر مختلف آغازین A (۳۰ تا

۹۰ با گام های ۵)، B (۰/۱ تا ۵ با گام‌های ۰/۵) و K (۰/۱ تا ۵ با گام‌های ۰/۵)، هر یک از پارامترهای منحنی رشد با استفاده از رویه NLINE نسخه ۹/۱ نرم افزار SAS برآورد شدند.

جدول ۱- میانگین وزن بز راینی بر اساس سن و جنس

Table 1, the weight average (WA) of Raeini Cashmere goats distributed by sex and age

	وزن اولیه W0		وزن سه ماهگی W1		وزن شش ماهگی W2		وزن نه ماهگی W3		وزن یک سالگی W4	
	WA(kg)	S.E	WA(kg)	S.E	WA(kg)	S.E	WA(kg)	S.E	WA(kg)	S.E
ماده Female	2.35	0.02	9.70	0.10	12.9	0.12	15.5	0.09	15.80	0.14
نر Male	2.55	0.02	10.84	0.11	15.0	0.16	18.3	0.09	19.13	0.17

وزن اولیه: وزن تولد، وزن سه ماهگی: بزهای بین ۸۵ تا ۹۰ روزه، وزن شش ماهگی: بزهای بین ۱۷۵ تا ۱۸۵ روزه، وزن نه ماهگی: بزهای بین ۲۶۵ تا ۲۷۵ روزه، وزن یک سالگی: بزهای بین ۳۶۰ تا ۳۷۵ روزه.

W0: birth weight; W1: kids between 85 and 95 days; W2: kids between 175 and 185 days; W3: kids between 265 and 275 days; W4: kids between 360 and 375 days. S.E: standard error

جدول ۲- توابع ریاضی مدل‌های رشد، فراسنجه‌های بیولوژیکی و نمودار رشد

Table 2, Mathematical description of growth models, biological parameters and growth evaluators

تابع ریاضی Mathematical expression	نقطه عطف Inflection point	سن در نقطه عطف Inflection age	نرخ رشد Growth Rate	سن بلوغ Age to maturity	نرخ بلوغ Maturity degree
برودی Brody	-	-	$V_c = Ka(1 - \frac{y}{a})$	$-\frac{\ln(\frac{a-y}{ba})}{K}$	-
ون برتالانفی Von Bertalanffy	$y_i = \frac{8a}{27}$	$t_i = \frac{\ln(3b)}{K}$	$V_c = 3Ky \left[\left(\frac{a}{y}\right)^{1/3} - 1 \right]$	$\ln\left(\frac{1 - \sqrt[3]{\frac{y}{a}}}{b}\right)$	-
ورهالست Verhulst	$y_i = \frac{a}{2}$	$t_i = \frac{\ln(b)}{K}$	$V_c = Ky \left(1 - \frac{y}{a}\right)$	$\ln\left(\frac{a-y}{y-b}\right)$	$u = \frac{y}{a}$
لجستیک Logistic	$y_i = \frac{a}{2}$	$t_i = \frac{-\ln(2\frac{1}{m} - 1)}{K}$	$V_c = mKa \left(\frac{e^{-kt}}{1 + e^{-kt}}\right)$	$-\frac{\ln\left[\left(\frac{a}{y}\right)^{1/m} - 1\right]}{K}$	-
گمپرتز Gompertz	$y_i = \frac{a}{e}$	$t_i = \frac{\ln(b)}{K}$	$V_c = Ky \ln\left(\frac{a}{y}\right)$	$\frac{\ln\left(\ln\frac{y}{a}\right)}{-b}$	-

Y: وزن (کیلوگرم در زمان t), t: زمان بر حسب روز، a, b, k و m = فراسنجه‌ها

y = weight, in kg, at age t; t = age in days; a, b, k and m = parameters.

پس از به‌دست آوردن پارامترهای مورد نظر برای توابع غیرخطی مورد بررسی، معیارهای مختلف جهت تشخیص مدل مناسب از جمله معیار اطلاعاتی آکائیک، میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین و تعداد گردش مدل محاسبه شدند و بر اساس آن‌ها بهترین تابع غیرخطی برای پارامترهای رشد گوسفند عربی انتخاب شد. شاخص اطلاعات آکائیک با

استفاده از رابطه زیر به دست آمد (Loupi et al, 2015).

رابطه ۱: $AIC = n(\log(2\pi) + \log(SSE) - \log(n)) + 2(n + p + 1)$

AIC: شاخص اطلاعاتی آکائیک، n: تعداد رکورد، p: تعداد پارامتر موجود در مدل‌های مختلف و SSE: مجموع مربعات باقیمانده مدل‌ها می‌باشد. تابع دارای کم‌ترین مقدار میانگین مربعات خطا (MSE)، کم‌ترین شاخص اطلاعاتی آکائیک (AIC)، کم‌ترین تعداد گردش مدل (Iteration) و بیش‌ترین مقدار ضریب تبیین (R^2)، به‌عنوان بهترین تابع انتخاب گردید.

نتایج و بحث

مقایسه توانایی مدل‌ها بر اساس شاخص آکائیکی، ضریب تبیین، میانگین مربعات خطا و تعداد چرخش مدل در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد ضریب تبیین مدل برودی، ون‌برتالنفی، ورهالست، لجستیک و گمپرتز برای دام‌های ماده به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۷، ۰/۹۶۸، ۰/۹۶۹ و ۰/۹۶۹ و برای دام‌های نر ۰/۹۶۵، ۰/۹۶۵، ۰/۹۶۳، ۰/۹۶۴ و ۰/۹۶۵ بود. Tatar *et al* (2009) از پنج مدل گمپرتز، لجستیک، برودی، تابع نمایی و ون‌برتالنفی برای برآوردهای پارامترهای رشد بز موئی استفاده کردند و ضریب تبیین برای این مدل‌ها را به ترتیب ۰/۹۹۷، ۰/۹۶۴، ۰/۹۸۹، ۰/۹۷۴ و ۰/۹۸۲ گزارش کردند. Ozdemir & Dellal (2009) به مطالعه منحنی رشد بز آنگوره پرداخت و گزارش نمود که ضریب تبیین دو مدل لجستیک و گمپرتز بالا و به ترتیب ۰/۹۵۷ و ۰/۹۵۶ بود. Arjmand *et al* (2013) به مطالعه چهار تابع غیرخطی برودی، گومپرتز، لجستیک و ون‌برتالنفی جهت برآورد منحنی رشد گوسفند لری بختیاری پرداخت و بیان داشت مدل برودی با داشتن کم‌ترین مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب آکائیک و بیشترین مقدار ضریب تبیین، مناسب‌ترین مدل جهت تشریح رشد این گوسفند می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر Molaie (2014) سه مدل غیرخطی گومپرتز، برودی و لجستیک را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که مدل برودی با دقت بالاتری و ضریب آکائیک و MSE کمتر نسبت به دیگر مدل‌ها برازش بهتری از منحنی رشد گوسفند کردی و بلوچی دارد. همان‌گونه که مشاهده شد تمام مدل‌های مورد بررسی توانایی برازش منحنی رشد بز راینی را دارا بودند اما در بین مدل‌های مورد مطالعه مدل برودی با داشتن بالاترین ضریب تبیین (R^2)، کم‌ترین شاخص اطلاعاتی آکائیک (AIC)، کم‌ترین میانگین مربعات خطا (MSE) و کم‌ترین تعداد چرخش مدل (Iteration)، بهترین برازش را برای هر دو جنس داشت و از آن می‌توان به عنوان مناسب‌ترین مدل جهت پیش‌بینی منحنی رشد بز راینی استفاده نمود. پارامتر A که در جدول ۳ آورده شده است نشان دهنده وزن در زمان بلوغ می‌باشد. وزن بلوغ معمولاً نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شود که بافت ماهیچه‌ای از نظر ساختار و تجمع سلولی، در نقطه حداکثر خود باشد (Owens & Dubeski, 1993). در این مطالعه جنس نر دارای وزن سنگین‌تری در زمان بلوغ بود (بین ۱۵/۵۶ تا ۱۹/۹۳ کیلوگرم). وزن در سن بلوغ به عواملی مانند گونه، نژاد، روش انتخاب، سیستم مدیریتی و شرایط محیطی وابسته است (Malhado *et al*, 2009). کم‌ترین و بیش‌ترین وزن بلوغ (پارامتر A) در هر دو جنس نر و ماده به ترتیب توسط مدل ورهالست و برودی برآورد گردید. مدل ورهالست این پارامتر را برای

جنس نر و ماده به‌ترتیب برابر ۱۸/۸۵ و ۱۵/۵۶ کیلوگرم برآورد نمود و مدل برودی به‌ترتیب برابر ۲۱/۰۹ و ۱۶/۹۳ کیلوگرم برای دو جنس نر و ماده برآورد کرد. نتایج دیگر محققین (Arjmand, 2012؛ Akbas *et al*, 1999) نیز با این نتایج هم‌راستا بوده و بیانگر برآورد بالاترین وزن بلوغ توسط مدل برودی نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد. هرچند نمی‌توان یک تعریف مناسب از وزن بلوغ ارائه نمود اما در مطالعات مربوط به منحنی رشد به‌صورت وزن در هنگام بلوغ تفسیر می‌شود. به‌طور کلی وزن بلوغ متوسط اندازه بدن در هنگام بلوغ می‌باشد، البته تغییرات کوتاه مدت در اندازه بدن رخ می‌دهد که این تغییرات کوتاه مدت می‌تواند ناشی از اثرات محیطی مربوط به شرایط آب و هوایی و تغذیه باشد (Fitzhugh, 1976). پارامتر B نشان‌دهنده ثابت انتگرال‌گیری مدل است. که مقدار برآورد شده برای این پارامتر برای جنس نر و ماده در بز راثینی به‌ترتیب برابر ۰/۸۸۴ و ۰/۸۶۷ بود. در بین ۵ مدل غیر خطی مورد مطالعه، به‌ترتیب مدل برودی و مدل ورهالست کم‌ترین مقدار B را برای هر دو جنس نشان دادند. هر چند که بدون هیچ توضیح بیولوژیکی یا ویژگی ظاهری این شاخص در دام‌های نر بیش‌تر از دام‌های ماده می‌باشد. (Jakoubo *et al* (2011) بیان نمودند که همبستگی بالا و معنی‌داری بین وزن بدن و اندازه‌گیری‌های خطی وزن بدن وجود دارد. هرچند که پیش‌بینی وزن بدن در بزغاله (در مجموع برای جنس نر و ماده) بهتر از وزن بز بالغ است (ضریب تبیین: ۰/۸۴-۰/۹۴، میانگین مربعات خطا: ۰/۰۱-۱/۵۵، در مقابل ضریب تبیین: ۰/۴۱-۰/۹۲، میانگین مربعات خطا: ۰/۰۵-۰/۱۶/۸۰). نرخ بلوغ یا پارامتر K نشان‌دهنده سرعت رشد تا رسیدن به وزن بلوغ می‌باشد. در شرایط داشتن وزن اولیه مشابه، حیوانات با نرخ بلوغ بالاتر نسبت به حیوانات با نرخ بلوغ کمتر، دارای زمان بلوغ زودتر هستند (McManus *et al*, 2003). با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش، مقدار پارامتر K برای جنس نر در دامنه ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۱۸ و برای جنس ماده در دامنه ۰/۰۰۷ تا ۰/۰۲۰ توسط مدل‌های مورد مطالعه محاسبه گردید. کمترین مقدار نرخ بلوغ یا پارامتر K توسط مدل برودی و بیشترین مقدار آن توسط مدل لجستیک برآورد گردید. (Tsukahara *et al* (2008) گزارش نمودند بین مدل‌های مورد ارزیابی، مدل برودی کمترین و مدل لجستیک بیشترین مقدار نرخ بلوغ (پارامتر K) را نشان دادند. همچنین Brown *et al* (1976) رابطه بین مقدار بالای وزن بلوغ (پارامتر A) و مقدار پائین مقدار نرخ بلوغ (پارامتر K) برآورد شده در مدل برودی را گزارش نمودند. (Tsukahara *et al* (2008) بیان نمودند که بزها در سن ۱/۵ تا ۲/۵ سال به وزن بلوغ می‌رسند که این برآورد در مدل‌های ون‌برتالنفی، گمپرتز و لجستیک مشابه می‌باشد. ارتباط بیولوژیکی مهمی بین پارامترهای نرخ بلوغ و وزن بلوغ در مدل‌های منحنی رشد وجود دارد. رابطه منفی بین این دو پارامتر نشان می‌دهد که حیوانات با وزن بلوغ بالا به‌طور کلی نرخ رشد پایین‌تری نسبت به حیوانات با وزن بلوغ کمتر دارند، به عبارت دیگر دام‌های با وزن بلوغ کمتر، زودتر نیز بالغ خواهند شد (Silva *et al*, 2012). مدل‌های رشد به صورت ریاضی بیانگر روند رشد در طول عمر هستند. شکل ۱ نشان‌دهنده منحنی رشد جنس نر و ماده بز راثینی می‌باشد که توسط مدل برودی ترسیم شده است. این شکل نشان می‌دهد که بز ماده بالغ وزن کمتری نسبت به جنس نر بالغ دارند زیرا جنسیت به‌طور معنی‌داری وزن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. (Kuzu (2001) با بررسی

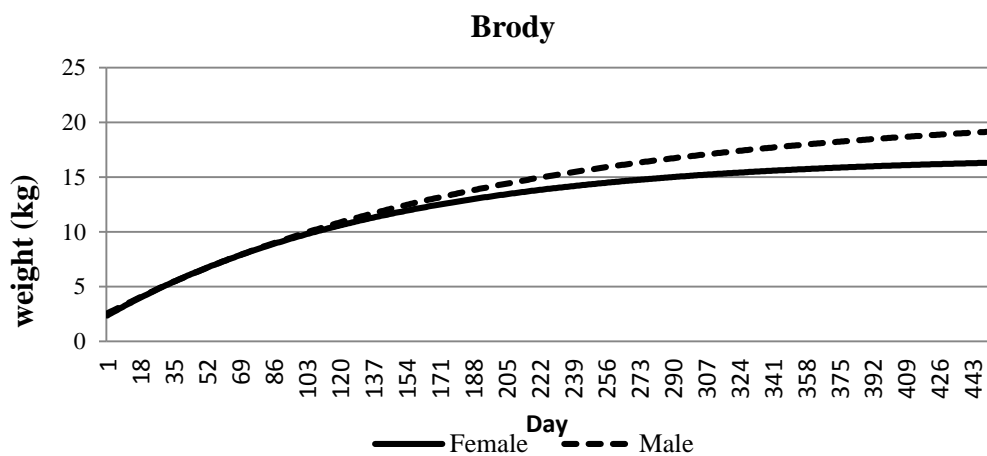
بز کیلس با استفاده از مدل منومولوکولی، Yeni (2003) با بررسی بز انکارا با استفاده از مدل گمپرتز و آیدین (۲۰۰۵) با بررسی بز موئی با استفاده از مدل گمپرتز گزارش نمودند که منحنی رشد برازش شده به صورت سیگموئیدی می‌باشد و مانند مدل ترسیم شده در این پژوهش می‌باشد.

جدول ۳- برآورد پارامترهای هر یک از مدل‌ها برای مطالعه منحنی رشد هر دو جنس بز نژاد رائینی

Table 3, Estimated parameters for each model in the study of the biological growth curve for both sexes of the Raeini goats breed

مدل Model	جنس Sex	وزن بلوغ A (s.e.)	ثابت مدل B/M (s.e.)	نرخ رشد K (s.e.)	ضریب تیبین R ²	m.s.e	گردش Iteration	آکائیکی AIC
برودی Brody	F	16.93 (0.172)	0.867 (0.006)	0.007(0.000)	0.970	4.65	4	1128.19
	M	21.09 (0.270)	0.884 (0.006)	0.005 (0.000)	0.965	7.50	4	1376.13
ون برتالنفی Von Bertalanffy	F	16.21 (0.121)	0.471 (0.007)	0.011(0.000)	0.970	4.69	5	1130.78
	M	19.81 (0.173)	0.489 (0.204)	0.010(0.000)	0.965	7.52	6	1378.77
ورهلست Verhulst	F	15.56 (0.091)	4.509 (0.204)	0.020(0.000)	0.968	4.95	6	1150.14
	M	18.85 (0.124)	4.74 (0.212)	0.018(0.000)	0.963	7.94	7	1399.24
لجستیک Logistic	F	15.78 (0.136)	2.611 (0.060)	0.016(0.000)	0.969	4.81	6	1139.54
	M	19.15 (0.136)	2.711 (0.006)	0.014(0.000)	0.964	7.71	7	1387.93
گمپرتز Gompertz	F	16.93 (0.172)	0.867 (0.006)	0.007(0.000)	0.969	4.73	6	1134.17
	M	19.44 (0.152)	1.943 (0.045)	0.012 (0.000)	0.965	7.60	6	1382.43

s.e. = standard error, R²= non-linear determinative coefficient; M.s.e. = mean square error; AIC = Akaike information coefficient.



شکل ۱- منحنی رشد رسم شده توسط مدل برودی برای دو جنس نر و ماده بز رائینی

وزن مشاهده شده و وزن پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مورد استفاده برای هر دو جنس نر و ماده بز رائینی در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، وزن دام نر در تمامی مدل‌ها و تمامی سنین از وزن دام ماده بیش‌تر بود. Kuzu (2001) با مطالعه روی بز کلیسی، Yeni (2003) با مطالعه روی بز آنقوره و Tatar *et al* (2009) با مطالعه روی بز مویی، در نتایج مشابه‌ای بیان داشتند که از سن تولد تا ۱۲ ماهگی وزن بزهای نر بیشتر از ماده می‌باشد. حداقل و حداکثر وزن تولد پیش‌بینی شده برای جنس ماده در این نژاد بین ۲/۲۵۰ تا ۸/۵۷۰ کیلوگرم به ترتیب بوسیله مدل برودی و مدل ون برتالنفی برآورد گردید در صورتی که میانگین وزن تولد مشاهده شده برای جنس ماده این نژاد ۲/۳۵۰ کیلوگرم بود. میانگین وزن تولد

جنس نر در این نژاد ۲/۵۵۰ کیلوگرم محاسبه گردید که مدل‌های مورد استفاده حداقل ۲/۴۴۰ و حداکثر ۱۰/۱۲۰ کیلوگرم، به ترتیب توسط مدل برودی و ون‌برتالنفی برآورد گردید. میانگین وزن دوازده ماهگی مشاهده شده برای جنس نر و ماده در این نژاد به ترتیب ۱۹/۱۳۰ و ۱۵/۸۰۰ کیلوگرم بود. مدل برودی (مدل منتخب این پژوهش) به ترتیب وزن جنس نر و ماده را ۱۹/۰۸۰ و ۱۵/۷۵۰ کیلوگرم در این سن برآورد نمود. حداقل وزن در ۱۲ ماهگی توسط مدل ورهالست (برای نر ۱۸/۷۲۰ و برای ماده ۱۵/۵۰۰ کیلوگرم) و حداکثر وزن در این سن توسط مدل ون‌برتالنفی (برای نر ۱۹/۱۴۰ و برای ماده ۱۵/۸۶۰ کیلوگرم) برآورد گردید.

جدول ۴- پیش بینی وزن بز رائینی در سنین مختلف به وسیله مدل‌های مختلف برای هر دو جنس

Table 4, Predicted weights of Raeini goat at different ages by sex for different models

	مشاهده شده		برودی		ون‌برتالنفی		ورهالست		لجستیک		گمپرتز	
	Observed		Brody		Von Bertalanffy		Verhulst		Logistic		Gompertz	
	ماده	نر	ماده	نر	ماده	نر	ماده	نر	ماده	نر	ماده	نر
	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M
W0	2.35	2.55	2.25	2.44	8.57	10.12	2.39	3.28	2.58	2.91	2.51	2.79
w1	9.70	10.84	9.11	9.20	9.35	10.39	8.14	9.72	9.13	10.07	8.99	10.05
W2	12.96	15.06	12.76	13.51	13.48	15.59	13.52	15.89	13.75	15.87	13.37	15.54
W3	15.59	18.39	14.71	16.25	15.20	18.06	15.18	18.18	15.27	18.16	15.12	18.01
W4	15.80	19.13	15.78	18.08	15.86	19.14	15.50	18.72	15.66	18.87	15.72	18.97

W0: birth weight; W1: kids between 85 and 95 days; W2: kids between 175 and 185 days; W3: kids between 265 and 275 days; W4: kids between 360 and 375 days, F: female, M: male

وزن در نقطه عطف بر اساس کیلوگرم، سن در نقطه عطف بر اساس روز و نرخ رشد بر اساس وزن و روز برای هر دو جنس نر و ماده بز رائینی، برآورد شده توسط مدل‌های مورد مطالعه، در جدول ۵ آورده شده است. وزن در نقطه عطف برای جنس ماده بین ۴/۸۰۰ تا ۷/۸۹۰ کیلوگرم و برای جنس نر بین ۵/۸۶۰ تا ۹/۵۵۰ برآورد گردید. سن در نقطه عطف برای جنس ماده بین ۳۰ تا ۸۵ روز و برای جنس نر بین ۳۷ و ۸۶ روز برآورد گردید. به ترتیب بیشترین و کمترین وزن و سن در نقطه عطف توسط مدل ون‌برتالنفی و لجستیک برآورد شد. (2008) Gaddour & Najari با بررسی فراسنجه‌های رشد بزهای تونس توسط مدل گمپرتز گزارش نمودند که سن در نقطه عطف در این بزها به طور میانگین ۱۰/۳۳ روز و وزن در نقطه عطف ۵/۷۹ کیلوگرم است. نرخ رشد توسط مدل برودی (مدل برتر انتخاب شده) برای سه، شش، نه و دوازده ماهگی به ترتیب برای جنس ماده ۵۰، ۲۸، ۱۶ و ۸ گرم در روز و برای جنس نر ۵۲، ۳۲، ۲۴ و ۱۵ گرم در روز محاسبه گردید. حداقل نرخ رشد برای سه، شش، نه و دوازده ماهگی به ترتیب توسط مدل برودی، برودی، ورهالست و ورهالست برآورد شد. (2015) Loupi *et al* گزارش نمودند که نرخ رشد در گوسفند اسپانیایی برای جنس نر روزانه بین ۸ تا ۳۹ گرم در روز و برای جنس ماده روزانه بین ۹ تا ۳۹ گرم است.

جدول ۵- وزن در نقطه عطف (کیلوگرم)، سن در نقطه عطف (روز) و نرخ رشد (وزن/روز) بز برائینی برای جنس نر و ماده

Table 5, Inflection point (weight), Inflection age (day) and Growth rate (kg weight/day) by sex in Raeini goats

مدل	جنس Sex	وزن در نقطه عطف y_i (kg)	سن در نقطه عطف T_i (day)	نرخ رشد	نرخ رشد	نرخ رشد	نرخ رشد
				۳ ماهگی V_{c3}	۶ ماهگی V_{c6}	۹ ماهگی V_{c9}	۱۲ ماهگی V_{c12}
برودی	F ماده	-	-	0.050	0.028	0.016	0.008
Brody	M نر	-	-	0.052	0.032	0.024	0.015
ون برتالانفی	F ماده	4.80	30.06	0.062	0.034	0.007	0.004
Von Bertalanffy	M نر	5.86	37.20	0.074	0.044	0.014	0.006
ورهالست	F ماده	7.78	85.32	0.077	0.035	0.007	0.001
Verhulst	M نر	9.42	86.44	0.084	0.044	0.008	0.002
لجستیک	F ماده	7.89	73.49	0.126	0.034	0.008	0.001
Logistic	M نر	9.55	83.89	0.160	0.050	0.014	0.003
گمپرتز	F ماده	5.88	47.32	0.062	0.035	0.010	0.002
Gompertz	M نر	7.15	55.22	0.075	0.046	0.016	0.007

Inflection point: y_i ; Inflection age: T_i ; Growth rate: V_c

همبستگی بین فراسنجه‌های مدل‌های رشد مورد بررسی بر اساس هر دو جنس نر و ماده بز راینی در جدول ۶ آورده شده است. این فراسنجه‌ها شامل وزن بلوغ (A)، ثابت رشد (M و B) و نرخ بلوغ (K) می‌باشد. همبستگی بین وزن بلوغ و ثابت رشد منفی و کم بود، که کمترین و بیشترین همبستگی مشاهده شده بین این دو فراسنجه برای هر دو جنس به ترتیب به مدل برودی و گمپرتز تعلق داشت. کمترین و بیشترین همبستگی بین وزن بلوغ و نرخ بلوغ برای هر دو جنس به ترتیب توسط مدل ورهالست و برودی محاسبه گردید. همانگونه که در جدول ۶ مشاهده می‌گردد، همبستگی بالا، مثبت و معنی‌داری بین ثابت رشد و نرخ رشد دیده می‌شود که به ترتیب کمترین و بیشترین همبستگی بین این دو فراسنجه برای هر دو جنس توسط مدل برودی و ورهالست محاسبه گردید. Beltran *et al* (1992) دو شاخص زیست‌شناسی برای توصیف مدل‌های رشد گزارش نمودند، اول شاخص اندازه که اغلب به عنوان وزن در زمان بلوغ (A) شناخته می‌شود و دوم نسبت نرخ رشد به وزن بدن که معمولاً به عنوان نرخ بلوغ (K) شناخته می‌شود. برآورد اولیه این فراسنجه‌ها می‌تواند جهت انتخاب دام با توجه به ارتباط آن‌ها با دیگر صفات و صفات اقتصادی مورد اهمیت باشد (Butts *et al*, 1980).

جدول ۶- همبستگی بین پارامترهای مدل‌های رشد در دو جنس نر و ماده بز راینی

Table 6, Correlations between parameters of growth models by sex in Raeini goats

فراسنجه‌ها Parameters	$R_{a\&b,m}$		$R_{a\&k}$		$R_{k\&b}$	
	ماده Female	نر Male	ماده Female	نر Male	ماده Female	نر Male
برودی Brody	-0.011*	-0.031*	-0.893*	-0.924*	0.218*	0.221*
ون برتالانفی Von Bertalanffy	-0.101*	-0.150*	-0.766*	-0.808*	0.494*	0.522*
ورهالست Verhulst	-0.120*	-0.155*	-0.526*	-0.586*	0.763*	0.760*
لجستیک Logistic	-0.092*	-0.138*	-0.641*	-0.692*	0.599*	0.617*
گمپرتز Gompertz	-0.121*	-0.173*	-0.696*	-0.743*	0.597*	0.622*

a, b, k and m = model parameters

* $P < 0.05$.

نتیجه گیری کلی

بر اساس نتایج بدست آمده تمامی مدل‌های مورد استفاده در این مطالعه توانایی برازش منحنی رشد بز رائینی را دارا می‌باشند، اما مدل برودی با داشتن دقت بالاتر و خطای کمتر قابلیت بیشتری برای برازش منحنی رشد این دام دارد. نرخ رشد توسط مدل برودی برای سه، شش، نه و دوازده ماهگی به ترتیب برای جنس ماده ۵۰، ۲۸، ۱۶ و ۸ گرم در روز و برای جنس نر ۵۲، ۳۲، ۲۴ و ۱۵ گرم در روز محاسبه گردید. وزن در نقطه عطف برای این دام بین ۴/۸۰۰ تا ۹/۵۵۰ کیلوگرم و سن در نقطه عطف بین ۳۰ تا ۸۶ روز برآورد شد. می‌توان از مدل برودی در بهبود رشد، بکارگیری روش‌های تغذیه مناسب، تعیین سن مناسب برای کشتار، اهداف اصلاح نژادی و پیش‌بینی صحیحی از رشد در بز رائینی استفاده نمود.

منابع

- Akbas, Y., Taskin, T. and Demiroren, E. (1999.) Comparison of several models to fit the growth curves of Kivircik and Daglic Male lambs. *Turkish Journal Veterinary Animal Sciences*, 23: 537-554.
- Arjmand, M. (2012). Determining growth curves in Lori Bakhtiari sheep. Master Thesis. Faculty of Agriculture. Shahrekord University. P: 60
- Askari, N. (2008). Study of genetic diversity of Raini goats based on microsatellite markers. Master Thesis. Faculty of Animal Sciences and Food Industry. Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan. P: 90.
- Aydin, U. (2005). Kil kecilerinde buyume ile ilgili bazi ozelliklere ait fenotipik iliskiler ve buyume egrileir uzerinde bir arastirma. Akdeniz University Natural Science Institute. PhD. Thesis. Antalya - Turkey.
- Bahraini Behzadi, M.R., Aslaminejad, A.A. and Ebrahimzadeh, M. (2010). Evaluation of nonlinear growth models in growth prediction in Baluchi sheep. Fourth Iranian Congress of Animal Sciences. Karaj.
- Bathaei, S.S. and Leroy, P.L. (1998). Genetic and phenotypic aspects of the growth curve characteristics in Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Research*. 29: 261-269.
- Beltran, J.J., Butts, W.T., Olson T.A. and Koger, M. (1992). Growth patterns of 2 lines of Angus cattle selected using predicted of 2 lines of Angus cattle selected using predicted growth parameters. *J. Anim. Sci.* 70(3): 734-741.
- Brody, S. (1945). *Bioenergetics and growth*. Rheingold publishing Crop., NY.
- Brown, J.E., Fitzhugh H.A. and Cartwright, T.C. (1976). A comparison of non-linear models for describing Weight-age relationships in cattle. *J. Animal Science*. 42:810-818.
- Butts, W.T., Backus, W.R., Lidvall, E.R., Corrick J.A. and Montgomery, R.F. (1980). Relationships among definable characteristics of feeder calves, subsequent performance and carcass traits. I. objective measurements. *J. Animal Science*. 51(6):1297-1305.
- Da Silva, L.S.A., Fraga, A.B., De Lima, F., Beelen P.M.G., De Oliveira Silva, R.M., Tonhati, H. and Da Costa Baroos, C. (2012). Growth curve in Santa Ines sheep. *Small Ruminant Research*. 105:182-185.
- Fitzhugh, H.A. (1976.) Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Sciences*. 42:1036-1051.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations: *Agricultural production, worldwide.*; Retrieved September 2, (2017). faostat.fao.org/default.aspx.
- Gaddour, A. and Najari, s. (2008). Adjustment of the Kid's Growth Curve in Pure Goat Breeds and Crosses Under Southern Tunisian Conditions, *Journal of Applied Animal Research*, 34(2): 117-120.

- Ghadirian, R., Soltani, A., Zinli, A., Kalateh Arabi, M. and Bakhshandeh, A. (2011). Evaluation of nonlinear regression models for use in wheat growth analysis. *Journal of Crop Production*, 4 (3): 55-77.
- Gurcan, E. K., Cobano glo, O., and Genc, S. (2012). Determination of Body weight – Age Relationship by Non – Linear Models in Japanese quail. *Journal Animal and Veterinary Advances*. 11:314 – 317.
- Kaps, M., Herring, W.O. and Lamberson, W.R. (1999). Genetic and environmental parameters for mature weight in Angus cattle. *Journal of Animal Science*. 77:569–574.
- Karakus, K., Eydurán, E., Kum, D., Ozdemir T. and Cengiz F. (2008). Determination of the best growth curve and measurement interval in Norduz male lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 7(11):1464-1466.
- Kor, A., Baspınar, E., Karaca, S. and Keskin, S. (2006). The determination of growth in akkeci (white goat) female kids by various growth models. *Czech Journal of Animal Science*. 51:110–116.
- Kucuk, M. and Eydurán, E. (2010). The determination of the best growth model for Akkaraman and German blackheaded mutton x Akkaraman B1 crossbreed lambs. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 15(1):90-92.
- Kuzu, E. (2001). Kilis keçisi oğlaklarında. Degisik Vucut Olculeri Bakimindan Buyume Egrileir. Ankara university Natural Science Institute. MSc. Thesis. Ankara. Turkey.
- Lupi, .TM., Nogales. S., Leon, J.M., Barba, C. and Delgado, J.V. (2015). Characterization of commercial and biological growth curves in the Segureña sheep breed. *Animal*. 9: 1341-1348.
- Lupi, T.M., Nogales, S., Leon, J.M., Barba, C. and Delgado, J.V. (2015). Characterization of commercial and biological growth curves in the Segureoa sheep breed. *The Animal Consortium*. Page 1-8. doi:10.1017/S1751731115000567.
- Malhado, C.H.M., Carneiro, P.L.S., Affonso, P.R.A.M., Souza Jr, A.A.O. and Sarmiento, J.L.R. (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.
- Masoudi, A. and Azarfar, A. (2014). Comparison of predictive power of nonlinear models for estimating growth parameters. *Conference on New Research in Animal Sciences*. Birjand University. Pp: 615-618
- Molaie Tajkuh, M. (2013). Comparison of growth curve between Kurdish and Baluchi breeds using nonlinear functions. Master Thesis. Animal genetics and breeding. Mashhad Ferdowsi University. P: 110.
- Masoudi, A. and Azarfar, A. (2017). Comparison of Nonlinear Models Describing Growth Curves of Broiler Chickens Fed on Different Levels of Corn Bran. *International Journal of Avian & Wildlife Biology*. 2(1): 1-7.
- McManus, C., Evangelista, C., Fernandes, L.A.C., Miranda, R.M., Moreno-Bernal, F.E. and Santos, N.R. (2003). Parameters for three growth curves and factors that influence them for Bergamasca sheep in the Brasilia. *R. Bras. Zootec*. 32: 1207-1212.
- Mohammadi, H., Moradi Shahrebabak, M. and Moradi Shahrebabak, H. (2012). Genetic parameter estimates for growth traits and prolificacy in Raeini Cashmere goats. *Tropical Animal Health & Production*. 44(6):1213.
- MoradiKor, N. and Ziaei, N. (2012). Effect of PGF2 Administration and Subsequent eCG Treatments on goats the Reproductive Performance in Mature Raeini Goats during the Breeding Season. *Asian J. Anim. Vet Adv*. 7(1): 94-99.
- Najari, S., Gaddoun, A., Ben Hamouda, M., Djemali, M. and Khaldi, G. (2007). Growth model adjustment of local goat population under pastoral conditions in Tunisian arid zone. *J. Agron*. 6(1): 61-67.
- Owens, F.N. and Dubeski, P. (1993). Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science*. 71:3138-3350.

- Ozdemir, H. and G. Dellal. (2009). Determination of growth curves in young Angora goats. *Tarim Biliml Eri Dergisi*. 15(4): 358-362.
- Rafat, S.A. and Shodja, D. (2004). The effects of feeding levels on characteristics of fibers of Raeini Cashmere goats. *Livest. Res. Rural Dev*. 16: 1-3.
- Richards, F.J. (1959). A flexible growth function for empirical use. *J.Exp. Bot*. 10:290-300.
- Shamsaddini-Bafti, M., Salehi, M., Maghsoudi, A., Mostafa Tehrani, A., Mirzaei, F. and Syed Momen, S.M. (2012). Effect of sex and rearing system on the quality and mineral content of fiber from raeini cashmere goats. *Journal of animal science and biotechnology*. 3: 20.
- Tatar, A.M., Takel, N., Ozkan, M., Baritci I. and Dellal, G. (2009). The determination of growth function in young Hair goats. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 8(2): 213-216.
- Tsukahara, Y., Chomei, Y., Oishi, K., Kahi, A.K., Panandam, J.M., Mukherjee, T.K. and Hirooka, H. (2008). Analysis of growth patterns in purebred Kambing Katjang goat and its crosses with the German Fawn. *Small Ruminant Research*. 80: 8-15.
- Von Bertalanffy, L. (1957). Quantitative laws in metabolism and growth. *Q. Rev. Biol*. 32: 217-231.
- Yakubu, A., Ladokun, A.O. and Adua, M.M. (2011). Bioprediction of Body Weight from Zoometrical Traits of Non-descript Goats using Linear and Non-Linear Models in North Central Nigeria. *Leivestock Research for Rural Development*. 23 (6): 219-227.
- Yeni, H. (2003). Genc Ankara keclerinde Buyume Fonksiyonunun Belirlen Ankara university Natural Science Institute. MSc. Thesis. Ankara. Turkey.

Comparison of nonlinear models for estimating growth parameters and growth curve of Raeini Goat

R.Kooshki^{1*}, A.Aazarfar², Z.Noorakhsh³

- 1) PhD Student, Department of Animal Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
- 2) Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram-Abad, Iran.
- 3) Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Arak University, Arak, Iran.

Correspondence Author: roozbehkooshki@gmail.com

Received: 2021, 12, 18

Accepted: 2022, 03, 16

Abstract

In this study, it was aimed at estimating of the growth curve in Raeini Cashmere goats. For drawing growth curve, records of weight-age data of 6765 female and male goats were individually fitted to Brody, Von Bertalanffy, Verhulst, Logistic and Gompertz growth models. The growth models were compared using the coefficient of determination (R^2), residual mean square error (MSE), Akaike's information criterion (AIC) and a number of iterations. Among all nonlinear models, the highest R^2 and the smallest AIC, MSE values and number of iterations were calculated by Brody function for both sexes. Moreover, males have higher A (weight at maturity) and B parameters than females and have a lower K parameter (rate of maturity) than females. As the Brody growth curve, female adult live weight was lower than males, because sex factor significantly influences on live weight. The range of inflection point 4.80 and 7.89 for females, 5.86 and 9.55 for males, respectively. The lowest of an inflection point in both sexes estimated for Von Bertalanffy model, and highest inflection point estimated for logistic in both sexes. The lowest and highest of inflection age in both sexes estimated for Von Bertalanffy and Verhulst models, respectively. In conclusion according to the results of this study, the nonlinear Brody growth model seems to be the most appropriate to adjust the growth curve of the Raeini Cashmere goats.

Keywords: Brody, Growth curves, Nonlinear models, Raeini Cashmere goat.