



مقایسه مدل‌های خطی و غیرخطی جهت توصیف منحنی رشد شترهای تک‌کوهانه

مرتضی بیطرف ثانی^{۱*}، مهدی خجسته کی^۲، جواد زارع هرفته^۳، علی شفیع نادری^۴

- ۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
- ۲- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قم، ایران
- ۳- کارشناس، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
- ۴- کارشناس ارشد، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱)

چکیده

هدف از انجام مطالعه حاضر، تعیین بهترین مدل ریاضی جهت توصیف منحنی رشد شترهای تک‌کوهانه بود. بدین منظور از رکوردهای ثبت شده بین سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیق و توسعه شتر تک‌کوهانه واقع در شهرستان بافق استان یزد، استفاده شد. رکوردهای مورد استفاده شامل وزن بدن ۷۴۷ نفر شتر تک‌کوهانه در سنین مختلف (از تولد تا ۱۴ ماهگی) بود. به منظور تعیین بهترین مدل توصیف کننده منحنی رشد شترهای تک‌کوهانه، هشت مدل ریاضی مختلف شامل مدل خطی، و مدل‌های غیرخطی شامل درجه دوم، درجه سوم، گومپرتز، برودی، لجستیک، مونومولکولار و فون برتالنفی با هم مقایسه شدند. سن شترها به عنوان متغیر مستقل و وزن شترها به عنوان متغیر وابسته در مدل وارد شدند. معیار مقایسه کارایی مدل‌ها، دارا بودن بالاترین مقدار ضریب تعیین تصحیح شده (R^2_{adj}) و یا کمترین مقدار معیار اطلاعات آکائیک (AIC) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بود. بر اساس نتایج این مطالعه، دقت معادلات خطی، درجه دوم و درجه سوم در توصیف منحنی رشد شترهای تک‌کوهانه نسبت به مدل‌های گومپرتز، لجستیک، مونومولکولار، فون برتالنفی و برودی به مقدار قابل توجهی کمتر بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد وزن شترها از روی سن آنها تا سن شیرگیری (۲۰۰ روزگی) با دقت بالایی قابل تخمین است، اما پس از شیرگیری به دلیل تاثیر شرایط محیطی مختلف بر رشد شترها و تغییر ناگهانی نوع خوراک، افزایش وزن شترها با افزایش سن آنها رابطه خطی نداشته و بهتر است علاوه بر سن از سایر فراسنجه‌ها نظیر ابعاد بدن برای تخمین دقیق وزن شترها استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: سن، شتر تک‌کوهانه، منحنی رشد، مدل‌های ریاضی

* نویسنده مسئول: m.bitaraf@areeo.ac.ir

مقدمه

از معادلات خطی، نمایی و معادلات نمایی اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفت (Bissa *et al.*, 1998). بر اساس نتایج یک مطالعه، مدل برودی از مزایای سادگی ریاضی و تفسیر زیستی برای توصیف منحنی رشد حیوانات اهلی برخوردار است (Abegaz *et al.*, 2010). مدل برودی دارای دقت کافی برای تخمین تفاوت‌های فردی در میزان بلوغ و وزن بلوغ شترها است (Gbangboche *et al.*, 2008). با این حال، تجزیه و تحلیل فاز رشد در دام‌های مختلف از جمله شتر برای کل طول عمر حیوان با استفاده از مدل‌های ریاضی در حال انجام است و ممکن است مدلی که در مورد منحنی رشد یک گونه دامی نظیر گاو یا گوسفند بهینه است، برای توصیف افزایش وزن بدن و منحنی رشد شتر مناسب نباشد. با این مقدمه، مطالعه حاضر با هدف مقایسه کارآیی هشت مدل ریاضی مختلف جهت توصیف منحنی رشد شترهای تک‌کوهانه بر اساس سن آنها انجام شد.

مواد و روش‌ها

اطلاعات مورد استفاده در مطالعه حاضر شامل رکوردهای ثبت شده در ایستگاه ملی تحقیق و توسعه شتر تک‌کوهانه واقع در شهرستان بافق در استان یزد، بود. ایستگاه بافق در سال ۱۳۷۱ به منظور انجام تحقیقات و افزایش بهره‌وری در گله‌های شتر تک‌کوهانه کشور تاسیس شد. در حال حاضر، این ایستگاه دارای تقریباً ۱۰۰ نفر شتر تک‌کوهانه با شجره و دارای رکوردهای فنوتیپی و بیومتری ثبت شده است. هرچند در ایستگاه بافق، رکوردبرداری از وزن شترها از روز اول تولد تا بلوغ جسمی (۴ تا ۵ سالگی) انجام می‌شود، اما به دلیل تمرکز رکوردبرداری وزن شترها تا حدود یک سالگی در ایستگاه مذکور و تراکم و حجم بهتر داده‌ها تا این محدوده سنی، از داده‌های موجود وزن بدن و سن ۷۴۷ نفر شتر تک‌کوهانه که بین سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۷ در دامنه سنی یک روز تا ۱۴ ماهگی ثبت شده بود، برای انجام مطالعه حاضر استفاده شد. برای تخمین وزن و تحلیل منحنی رشد شترها از هشت مدل ریاضی مختلف که در مطالعات متعدد از آنها برای تخمین وزن دام‌های مختلف استفاده شده و کارآیی آنها مورد بررسی قرار گرفته بود، استفاده شد. این مدل‌ها شامل مدل خطی (Linear)، و مدل‌های غیرخطی درجه دوم (Quadratic)،

رشد یکی از مهمترین جنبه‌های حیاتی حیوانات اهلی است (Abegaz *et al.*, 2010). افزایش بازده تولید در حیوانات اهلی تا حد زیادی به میزان رشد آنها وابسته است (Mohammadi *et al.*, 2019). همچنین رشد یک حیوان را می‌توان به ظرفیت و عملکرد تولیدمثلی آن نیز مرتبط دانست (Mehta, 2008). وزن یک حیوان نقش مهمی در انتخاب، آزمایشات و تصمیم‌گیری در مورد میزان داروی مورد نیاز آن دارد. شترهای چهار سال به بالا را معمولاً بالغ و وزن بدن آنها را در این سن به عنوان وزن بلوغ در نظر می‌گیرند (Khanna *et al.*, 2004). لذا استفاده از مدل‌های ریاضی برای شناخت فرآیند رشد حیوانات اهلی و مدل‌سازی این فرآیند دارای کاربرد فراوانی است و امکان پیش‌بینی رشد آتی و نیز تهیه و طراحی ابزارهای کنترل و بهینه‌سازی سیستم‌های تولید حیوانات اهلی از این راه ممکن می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2019). مدل‌های خطی یکی از رایج‌ترین این توابع هستند. مدل نمایی نیز که در سال ۱۹۶۴ به وسیله برودی معرفی شد یکی دیگر از توابع رایج مورد استفاده جهت توضیح الگوی رشد دام‌های اهلی است (Bissa *et al.*, 1998). اما در شتر فقط چند مطالعه محدود در این زمینه انجام شده است. در یک مطالعه، الگوی رشد در بچه شترهای بیکانری از بدو تولد تا ۳۰ ماهگی بررسی شد (Beniwal and Chaudhary, 1983). بر اساس نتایج آن مطالعه، بیشترین رشد ماهیانه در بچه شترها در سه ماه اول زندگی پس از تولد حاصل شد. بعد از آن، نرخ رشد شترها تا ۲۴ ماهگی به صورت کاهشی بود، اما منحنی رشد از ۲۴ به ۲۷ ماهگی روند افزایش داشت. نتایج مطالعه مذکور نشان داد که تابع خطی عملکرد مناسب‌تری برای توضیح الگوی رشد شترها نسبت به تابع نمایی داشت. همچنین نتایج یک مطالعه نشان داد که منحنی رشد در حیوانات غیرخطی بوده و از معادله گومپرتز تبعیت می‌کند (Snedecor and Cochran, 1994). در یک مطالعه (Mehta *et al.*, 2010)، توابع خطی، درجه دوم، درجه سوم، نمایی و گومپرتز برای توضیح وزن دام‌ها در سنین مختلف مقایسه شدند. نتایج نشان داد که مدل درجه سوم، مراحل رشد شترهای تک‌کوهانه هندی را بهتر توصیف نمود. همچنین ارزیابی منحنی‌های رشد شتر بیکانری تا ۱۸ ماهگی با استفاده

تولد از ۱۸ تا ۴۰ کیلوگرم متغیر بوده است. در جدول ۲، وزن شترها و در جدول ۳، سرعت رشد شترها در مقاطع سنی مختلف ارائه شده است. بر اساس جدول ۲، بیشترین حجم داده مربوط به وزن تولد شترها با ۱۶۸ رکورد و کمترین آنها مربوط به وزن یک سالگی با ۱۰ رکورد بود. متوسط وزن شترها در هنگام تولد، سه ماهگی، شش ماهگی، نه و ۱۲ ماهگی به ترتیب برابر با ۳۱/۸۴، ۸۷/۱۵، ۱۳۵/۳، ۱۳۱/۹۶ و ۲۱۸/۵۵ کیلوگرم برآورد شد. زمان از شیرگیری شترها از ۱۸۰ تا ۲۱۰ روزگی و به طور متوسط، ۲۰۰ روزگی بود. بر اساس نتایج جدول ۳، سرعت رشد شترها از تولد تا سه ماهگی برابر با ۶۲۰ گرم در روز، از سه ماهگی تا زمان شیرگیری برابر با ۴۴۰ گرم در روز، از شیرگیری تا نه ماهگی برابر با ۲۶۰ گرم در روز و از نه تا ۱۲ ماهگی برابر با ۶۹۰ گرم در روز بود.

روند رشد توصیف شده از زمان تولد تا وزن از شیرگرفتن شترها (شش تا هفت ماهگی) به وسیله همه مدل‌های مورد بررسی، خطی بود. بررسی منحنی‌های رشد در مقاطع زمانی رشد شترها نشان داد که هر چند سرعت رشد شترها از بدو تولد تا شش ماهگی رفته رفته کاهش می‌یابد، اما این کاهش رشد از سن شش تا نه ماهگی به صورت ناگهانی، شدید و قابل توجه است و پس از آن از نه تا ۱۲ ماهگی، بار دیگر رشد شترها به صورت خطی بهبود یافته است. از ۱۲ تا ۱۴ ماهگی مجدداً رشد شترها روند کاهشی داشته و به ۳۶۰ گرم در روز کاهش یافته است.

جدول ۲- آماره‌های وزن بدن شترها در سنین مختلف

Table 2. The statistics of body weight of camels at different ages

Age (month)	n	Body weight (kg)	SD (kg)
Birth	168	31.84	6.65
1	23	56.88	14.00
2	29	77.07	14.63
3	40	87.15	19.22
4	108	106.22	21.39
5	87	122.43	25.65
6	56	135.30	30.39
7	45	129.89	29.93
8	47	153.43	28.07
9	28	131.96	22.48
10	31	138.55	32.64
11	36	164.14	27.50
12	10	218.55	53.98
14	30	240.27	41.50
Average	52.7	128.12	56.8

درجه سوم (Cubic)، گومپرتز (Gompertz)، لجستیک (Logistic)، برودی (Brody)، مونومولکولار (Monomolecular) و فون برتالنفی (Von Bertalanffy) بود که برای توصیف منحنی رشد شترهای تک‌کوهانه بر اساس سن آنها استفاده شد. توابع ریاضی مربوط به هر یک از این مدل‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- توابع ریاضی مورد استفاده در این مطالعه

Function	Model
linear	$y = A + Bt$
Quadratic	$y = A + B_1t - B_2t^2$
Cubic	$y = A + B_1t - B_2t^2 + B_3t^3$
Logistic	$y = \frac{A}{(1 + Be^{-kt})}$
Gompertz	$y = Ae^{-Be^{-kt}}$
Brody	$y = A(1 - Be^{-kt})$
Von Bertalanffy	$y = A(1 - Be^{-kt})^3$
Monomolecular	$y = 1 - (1 - A)e^{-kt}$

در این مدل‌ها، y وزن بدن در سن t (روز)، A در مدل‌های خطی، درجه دوم و مکعب، ثابت است و در مدل‌های دیگر، وزن مجانبی است که به عنوان وزن بالغ در نظر گرفته می‌شود، B یک ثابت ادغام مربوط به وزن اولیه حیوان است، K میزان بلوغ و e رقم پایه در لگاریتم طبیعی است (با دو رقم اعشار برابر با ۲/۷۱ است). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از رویه NLIN و روش تکرار نیوتن-گاموس در نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد. سه معیار شامل معیار اطلاعات آکائیک (AIC)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین تصحیح شده (R^2_{adj}) برای مقایسه مدل مناسب مورد استفاده قرار گرفت. معیار AIC به شرح زیر محاسبه شد (Snedecor and Cochran, 1994):

$$AIC = n \log \left(\frac{sse}{n} \right) + 2p$$

که، n تعداد مشاهدات، p تعداد فراسنجه‌های مدل و SSE مجموع باقیمانده مربعات است.

نتایج و بحث

در شکل ۱ نمودار توزیع فراوانی وزن شترها در مطالعه حاضر نمایش داده شده است. وزن شترهای مورد بررسی در مطالعه حاضر از ۱۸ تا ۳۰۴ کیلوگرم متغیر بود. وزن شترها در هنگام

با مدل برودی و مونوملکولار یکسان و در محدود ۰/۹۵۳ تا ۰/۹۵۴ متغیر بود، اما میزان خطای این مدل‌ها در مقایسه با دو مدل اخیر، بیشتر برآورد شد.

در شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب نمودار میزان انحراف اوزان واقعی شترها از اوزان تخمین زده شده به وسیله مدل‌های برودی و مونوملکولار نمایش داده شده است. بر اساس اطلاعات این شکل‌ها، میزان همبستگی بین وزن‌های واقعی و وزن‌های تخمین زده شده به وسیله مدل نهایی برای مدل‌های برودی و مونوملکولار به ترتیب برابر با ۹۰ و ۸۹ درصد برآورد شد و از این نظر، دقت مدل برودی در مرحله آزمون عملی نسبت به مدل مونوملکولار اندکی بیشتر بود. همان‌طور که در شکل-های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، رشد بچه شترها تا زمان از شیرگیری یعنی سنین شش تا هفت ماهگی خطی است، اما بعد از سن هفت ماهگی، توابع خطی توصیف کننده مناسبی برای روند رشد شترها نبوده و توابع برودی و مونوملکولار این روند را با دقت بالاتری تشریح نموده‌اند.

بحث

بر اساس نتایج این مطالعه، معادلات خطی، درجه دوم و درجه سوم در توصیف منحنی رشد شترهای تک‌کوهانه دارای کارایی مناسبی نبوده و دقت آنها کمتر از ۷۹ درصد برآورد شد. در مقابل، توابع گومپرتز، لجستیک، برودی، فون برتالنفی و مونوملکولار با دقت بیش از ۹۵ درصد موفق به تخمین وزن و سرعت رشد شترهای تک‌کوهانه شدند.

جدول ۳- افزایش وزن روزانه در سنین مختلف شترهای تک‌کوهانه

Table 3. Daily weight gain at different ages of dromedary camels

Age range (days old)	Cumulative body weight gain(kg)	Daily weight gain ratio
0-90	55.31	0.62
90- 200	48.15	0.44
200- 270	18.13	0.26
270 – 365	65.12	0.69
365- 420	21.72	0.36

در جدول ۴، معیارهای AIC، RMSE و R^2_{adj} مربوط به هشت مدل ریاضی و در جدول ۵، معادلات نهایی جهت تخمین وزن شترها با استفاده از این روابط، ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، عملکرد مدل‌های ریاضی مختلف در تشریح و توصیف منحنی رشد شترهای تک‌کوهانه با یکدیگر کاملاً متفاوت بود. نتایج نشان داد که مدل خطی با ضریب تعیین برابر با ۰/۷۵۱ و مقدار جذر میانگین مربعات خطای برابر با ۲۵/۵۸ کمترین کارایی و مدل‌های برودی و مونوملکولار با ضریب تعیین برابر با ۰/۹۵۴ و جذر میانگین مربعات خطای برابر با ۲۴/۱۷ بالاترین کارایی و دقت را در توصیف منحنی رشد شترهای تک‌کوهانه در سنین مختلف داشتند. پس از مدل خطی، پایین‌ترین دقت مدل برای تخمین وزن و سرعت رشد شترهای تک‌کوهانه، مربوط به مدل‌های درجه دوم و درجه سوم بود که میزان R^2_{adj} آنها به ترتیب برابر با ۰/۷۷۶ و ۰/۷۸۲ برآورد شد. هر چند دقت مدل‌های لجستیک، گومپرتز و فون برتالنفی به لحاظ آماره ضریب تعیین مدل تا حد زیادی

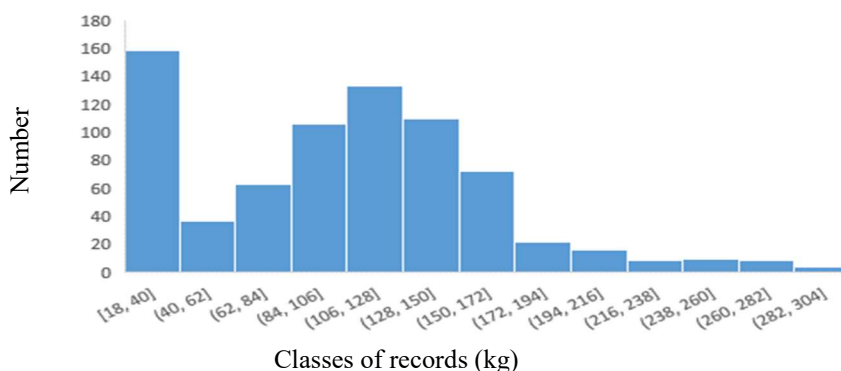


Fig. 1. The frequency distribution of body weight records

شکل ۱- توزیع فراوانی رکوردهای وزن بدن

جدول ۴- مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیار اطلاعات آکائیک (AIC)، مجموع مربعات باقیمانده (Residual SS) و ضریب تعیین تصحیح شده (R^2_{adj}) برای توابع رشد شترهای تک کوهانه

Table 4. The RMSE, AIC, residual SS, and R^2_{adj} values for growth functions of dromedary camels

Model	No. of parameters	Residual SS	R^2_{adj}	RMSE	AIC
Linear	2	462092.868	0.751	25.584	1996.805
Quadratic	3	416190.227	0.776	24.297	1966.635
Cubic	4	403443.544	0.782	23.939	1959.071
Brody	3	411976	0.954	24.174	1963.506
Logistic	3	426535	0.953	24.597	1974.184
Gompertz	3	417623	0.954	24.339	1967.692
Von Bertalanffy	3	415211	0.954	24.268	1965.911
Monomolecular	3	411976	0.954	24.174	1963.506

جدول ۵- مدل‌های خطی و غیرخطی جهت پیش‌بینی منحنی رشد شترهای تک کوهانه بر اساس سن آنها

Table 5. Linear and non-linear models to predict growth curve of dromedary camels based on their age

Model	Equation
Linear	weight=39.284+0.371(age)
Quadratic	weight=30.691+0.571(age)-0.0006(age^2)
Cubic	weight=27.396+0.820(age)-0.0024(age^2)+0.000003(age^3)
Brody	weight=207.5-(207.5-29.988)*exp(-0.0037*(age-1))
Logistic	weight=160.9/(1+3.7777*exp(-0.0128*age))
Gompertz	weight=172.4*exp(-1.6992*exp(-0.00812*age))
Monomolecular	weight=207.5*(1-0.8586*exp(-0.00366*age))
Von Bertalanffy	weight=179.5*(1-0.4445*exp(-0.00660*age))^3

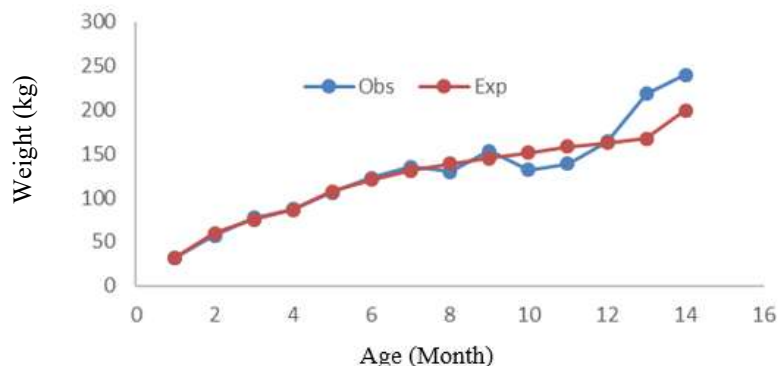


Fig. 2. Performance of monomolecular model to predict growth curve of camels based on observed and expected values

شکل ۲ - عملکرد مدل مونوملکولار برای پیش‌بینی منحنی رشد شترها بر اساس مقادیر مشاهده شده و مورد انتظار

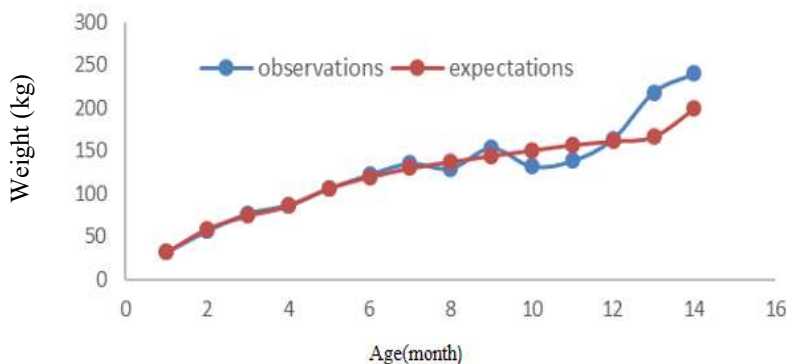


Fig. 3. Performance of Brody model to predict growth curve of camels based on observed and expected values

شکل ۳- عملکرد مدل Brody برای پیش‌بینی منحنی رشد شترها بر اساس مقادیر مشاهده شده و مورد انتظار

مناسبی است. شاید اختلاف نتایج گزارش محققان در معرفی یک مدل و رد مدل دیگر برای تشریح و توصیف منحنی رشد در حیوانات اهلی و از جمله شتر به موارد متعدد از جمله تفاوت در حجم و تنوع داده‌ها، تفاوت در دامنه سنی دام‌های مورد بررسی و همچنین تفاوت در ماهیت رشد حیوانات مورد بررسی مربوط باشد (Abegaz *et al.*, 2004; Khanna *et al.*, 2004; Tekelen *et al.*, 2010).

در مطالعه حاضر، بررسی منحنی رشد شترهای تک‌کوهانه در مقاطع زمانی مختلف نشان داد که سرعت رشد شترها از بدو تولد تا سه ماهگی سریع بوده است و سرعت رشد آنها از سه تا شش ماهگی کندتر شده، اما از شش تا نه ماهگی، سرعت رشد شترها به صورت ناگهانی و به شدت کاهش یافته است. از نه ماهگی به بعد و تا ۱۲ ماهگی، نرخ رشد شترها بار دیگر و به صورت خطی به آرامی افزایش یافته است. در مطالعه انجام شده روی شترهای کنیا به وسیله Field (1979)، بیشترین نرخ رشد در سال اول گزارش شد. بر اساس گزارش وی، میانگین نرخ رشد در سال اول، ۰/۵۸ کیلوگرم در روز بود که تقریباً با نتایج حاضر در شترهای تک‌کوهانه ایستگاه بافق همخوانی دارد. Gerard and Richard (1985) میانگین افزایش وزن روزانه در شترهای تک‌کوهانه اتیوپی در سال اول زندگی برای جنس نر و ماده را به ترتیب برابر با ۳۵۰ گرم و ۲۴۴ گرم در روز گزارش کردند که این مقادیر، اندکی پایین تر از مقادیر مشاهده شده در مطالعه حاضر است. (1987) Degen *et al.* نیز میانگین افزایش وزن روزانه شترهای تک‌کوهانه را ۱۸۰ تا ۶۸۰ گرم در روز برای سنین مختلف گزارش نموده و مشخص شد که با افزایش وزن و سن، سرعت رشد

تاکنون مطالعه الگوی رشد در گونه‌های مختلف دام‌های اهلی به وسیله بسیاری از محققان انجام گرفته و در این مطالعات معمولاً توابع مختلف ریاضی برای بررسی منحنی رشد مورد مقایسه واقع شده است (Ghavi Hossein-Zadeh, 2015). نتایج (2010; Darmani Kuhi *et al.*, 2019a,b). Mehta *et al.* نشان داد توابع درجه سوم بهترین ابزار برای توضیح رشد شترهای تک‌کوهانه در مراحل مختلف زندگی بود. در بررسی منحنی رشد گاوهای اصیل آنگوس، (2004) Hassen *et al.* دریافتند که تابع درجه سوم بهترین پیش‌بینی را از افزایش وزن گاوها در سنین مختلف داشت. همچنین نتایج مطالعه Beniwal and Chaudhary (1983) نشان داد که تابع خطی عملکرد مناسب‌تری برای توضیح الگوی رشد شترها نسبت به تابع نمایی بوده است، که نتایج این دو مطالعه با نتایج مطالعه حاضر، همخوانی و مطابقت ندارد. از طرفی، نتایج ارایه شده به وسیله برخی از محققان، نتایج مطالعه حاضر را در خصوص عملکرد مناسب مدل برودی برای تشریح منحنی رشد شترهای تک‌کوهانه تایید می‌کنند. برای مثال بر اساس نتایج (2010) Abegaz *et al.*، مدل برودی، به دلیل سادگی ریاضی و تفسیرپذیری زیستی، برای توصیف منحنی رشد حیوانات اهلی از جمله شتر مناسب است. همچنین (2008) Gbangboche *et al.* نشان دادند که مدل برودی از دقت کافی برای تخمین تفاوت‌های فردی در میزان بلوغ و وزن بلوغ شترها برخوردار است. همچنین (1994) Snedecor and Cochran طی یک مطالعه نشان دادند که منحنی رشد در حیوانات اهلی غیرخطی بوده و معادله گومپرتز برای توصیف منحنی رشد آنها دارای عملکرد

مطالعه حاضر تا سن هفت ماهگی نسبتاً مناسب است، اما تابعیت این دو منحنی از هم از سن هفت تا ۱۴ ماهگی کاهش می‌یابد، یعنی دقت تخمین مدل‌ها از هفت تا ۱۴ ماهگی برای برآورد وزن شتر از روی سن آن کاهش یافته است. یکی از دلایل مهم این موضوع آن است که به علت محدودیت‌های خوراک و تغییر جیره غذایی شترها از شیرخوارگی به علف خوارگی، از سن شیرگیری به بعد، وزن شترها دیگر از سن آنها تابعیت مشخصی نداشته و دچار نوسانات شدید می‌شود. از سن نه تا ۱۲ ماهگی که بچه شترها به مصرف خوراک‌های علوفه‌ای عادت کرده‌اند، مجدداً رشد مناسبی داشته و سرعت رشد روزانه آنها تا ۶۹۰ گرم در روز افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مدل‌های غیرخطی مونوملکولار و برودی از قابلیت مناسبی برای تخمین وزن و سرعت رشد شترهای تک‌کوهانه بر مبنای سن آنها برخوردار هستند، هر چند استفاده از سن برای تخمین وزن شترها تا سن شیرگیری (۱۸۰ تا ۲۱۰ روزگی) از دقت بسیار بالایی برخوردار است و از این سن به بعد، دقت مدل‌ها کاهش می‌یابد. لذا توصیه می‌شود برای تخمین وزن شترها پس از شش تا هفت ماهگی، علاوه بر سن حیوان، از سایر رکوردهای موجود نظیر ابعاد بدن برای تخمین دقیق‌تر وزن شترها استفاده شود.

حیوانات کاهش می‌یابد، که نتایج آنها با نتایج مطالعه حاضر تا حد زیادی همخوانی دارد. Meredov *et al.* (1989) افزایش وزن روزانه برای شتر تک‌کوهانه بومی اتحاد جماهیر شوروی سوسیالیستی در سال ابتدایی عمر را از ۹۵۰ تا ۱۰۳۰ گرم گزارش نمودند که بسیار بالاتر از مشاهدات مطالعه حاضر است. الگوی رشد در دو نژاد شتر بیکانری و کاجچی به وسیله *Khanna et al.* (1990) مطالعه شد. افزایش وزن روزانه در نژاد بیکانری، برای مقاطع سنی ۰-۳ ماه، ۳-۶ ماه، ۶-۱۲ ماه و سن ۱-۲ سال به ترتیب ۷۳۲، ۶۱۶، ۳۴۹ و ۲۰۹ گرم، و برای نژاد کاجچی به ترتیب ۸۰۰، ۶۸۶، ۲۵۴ و ۱۳۲ گرم گزارش شد که نتایج گزارش شده در آن مطالعه و بخصوص تا سن نه ماهگی تا حدی با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. علت افت شدید رشد شترها در سن هفت تا نه ماهگی در مطالعه حاضر و نیز سایر مطالعات مشابه می‌تواند به موضوع مهم از شیرگرفتن آنها مربوط باشد. در سن ۱۸۰ تا ۲۱۰ روزگی، شترداران اقدام به از شیر گرفتن بچه شترها نموده و آنها را به یک‌باره وادار به تغذیه از مرتع می‌نمایند. این تغییر ناگهانی خوراک در بچه شترها باعث ایجاد تنش و شوک ناگهانی به آنها شده و تا زمانی که بچه شترها به تعلیف از مرتع و خوراک جدید عادت نکنند، سرعت رشد آنها بسیار کند شده و حتی در برخی مواقع منفی می‌شود. بر اساس منحنی ارائه شده در شکل‌های ۴ و ۵، انطباق و هم‌پوشانی نمودار وزن واقعی و وزن تخمین زده شده به وسیله مدل‌های برودی و مونوملکولار در

فهرست منابع

- Abegaz S., Van Wyk J. B. and Olivier J. J. 2010. Estimation of genetic and phenotypic parameters of growth curve and their relationship with early growth and productivity in Horro sheep. *Archives Animal Breeding*, 53: 85-94.
- Beniwal B. K. and Chaudhary A. L. 1983. Growth pattern in Bikaneri camels. *Indian Journal of Animal Sciences*, 53: 101-104.
- Bissa U. K., Yadav S. B. S., Khanna N. D. and Pant K. P. 1998. Growth curves of body weight from birth to four years in Bikaneri breed of Indian camel (*Camelus dromedarius*). *Proceedings of the Third Annual Meeting for Animal Production under Arid Conditions*, 2: 15-24.
- Brody S. 1964. *Bioenergetics and growth*. Hafner Publishing Company, New York.
- Darmani Kuhi H., Ghavi Hosseini-Zadeh N., Lopez S., Falahi S. and France J. 2019a. Sinusoidal function to describe the growth curve of dairy heifers. *Animal Production Science*, 59(6): 1039-1047.
- Darmani Kuhi H., France J., Lopez S. and Ghavi Hosseini-Zadeh N. 2019b. A sinusoidal equation as alternative to conventional growth functions to describe the evolution of growth in quail. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(3): e0606.
- Degen A. A., Elias E. and Kam M. 1987. A preliminary report on the energy intake and growth rate of early weaned camels. *Animal Production*, 45: 301-306.

- Field C. R. 1979. Camel growth and milk production in Marsabit district, N. Kenya, Preliminary report. Workshop on camel, Khartoum, Sudan, 18-20 December. Pp. 215-240.
- Gbangboche A. B., Gleke-alai R., Albuquerque L. G. and Leroy P. 2008. Comparison of non linear growth models to describe the growth curve in West African Dwarf sheep. *Animal*, 2: 1003-1012.
- Ghavi Hossein-Zadeh N. and Ghorbani A. 2018. Modeling the growth curves for body weight and some biometric traits in Caspian horses (*Equus ferus caballus*) using non-linear mixed models. *Mammalian Biology*, 93: 5-12.
- Hassen A., Wilson D. E., Rouse G. H. and Tait R. G. 2004. Use of linear and non-linear growth curves to describe body weight changes of young Angus bulls and heifers. Iowa State University Animal Industry Report. A. S. leaflet R1869.
- Khanna N. D., Rai A. K. and Tandon S. N. 2004. Camel breeds of India. *Journal of Camel Science*, 1: 5-15.
- Khanna N. D., Tandon S. N. and Rai A. K. 1990. Breeding parameters of Indian camel. *Indian Journal of Animal Sciences*, 60: 1347-1354.
- Mehta S. C. 2008. Mathematical functions for the prediction of body weight gain in dromedary. *Journal of Camel Research and Practice*, 15: 239-244.
- Mehta S. C., Bapna D. L. and Bhure S. K. 2010. Mathematical functions for the prediction of growth in Indian dromedary genotypes. *Indian Journal of Animal Sciences*, 80: 148-151.
- Meredov B. 1989. The one humped camel. *Animal Genetic Resources of USSR. Animal Production and Health paper No. 65*, FAO: Rome, Italy. Pp. 351-355.
- Mohammadi Y., Mokhtari M. S., Saghi D. A. and Shahdadi A. R. 2019. Modeling the growth curve in Kordi sheep: The comparison of non-linear models and estimation of genetic parameters for the growth curve traits. *Small Ruminant Research*, 177: 117-123.
- Richard D. and Gerard D. 1985. Milk production in Dankali dromedaries (Ethiopia). International Conference on Animal Production in Arid Zone, held at Damascus, Syria on 7-12 September. *Animal Breeding Abstracts*, 58: 8133.
- Snedecor G. W. and Cochran W. G. 1994. *Statistical Methods*. Pp. 398-419. Affiliated East-West Press Pvt. Ltd., New Delhi.
- Statistical Analysis System (SAS). 2004. *SAS Users' Guide. Version 9.1*. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Tekelen J. T., Galvao A. C. and da Silva Robazza W. 2017. Comparing non-linear mathematical models to describe growth of deferent animals. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39: 73-81.



Research paper

Comparison of linear and non-linear models to predict the growth curve of dromedary camels

M. Bitaraf Sani^{1*}, M. Khojestekey², J. Zare Harofte³, A. Shafei Naderi⁴

1. Assistant Professor, Animal Science Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

2. Assistant Professor, Animal Science Research Department, Qom Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Qom, Iran

3. Expert, Animal Science Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

4. MSc, Animal Science Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

(Received: 16-02-2021 – Accepted: 10-04-2021)

Abstract

The present study aimed to determine the best mathematical model to describe the growth curve of dromedary camels. For this purpose, the data recorded between 1990 and 2018 in the National Research and Development Station on Dromedary Camel located in Bafgh, Yazd province, were used. The records included the body weight of 747 dromedary camels at different ages (from birth to 14 months of age). To determine the best model describing the growth curve of dromedary camels, eight different mathematical models including linear, quadratic, cubic, Gompertz, Brody, logistic, monomolecular, and von Bertalanfy were compared. The age of camels was included in the model as an independent variable and the weight of camels as a dependent variable. The criteria for comparing the performance of the models were having the highest value of the corrected coefficient of determination (R^2 adj) or the lowest values of Akaike information criterion (AIC) and the mean square error (MSE). Based on the results of this study, the accuracy of linear, quadratic, and cubic equations in describing the growth curve of dromedary camels was significantly lower than that of Gompertz, logistic, monomolecular, von Bertalanfy and Brody models. The results of the present study showed that the weight of dromedary camels could be predicted precisely up to weaning age (200 days), However, after weaning, due to the effect of different environmental conditions on the growth of camels and a sudden change in feed type, the increase in camel weight does not have a linear relationship with their age, and it is better to use other parameters such as biometric measurements to accurately estimate camel weight.

Keywords: Age, Dromedary camel, Growth curve, Mathematical models

*Corresponding author: m.bitaraf@areeo.ac.ir