

ارزیابی توابع ریاضی در برآورد عملکرد رشد گوسفند نژاد عربی

- خبات خیرآبادی
باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران
- یحیی محمدی (نویسنده مسئول)
استادیار و عضو هیات علمی گروه علوم دامی دانشگاه ایلام.

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۵

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۳۴۲۱۴۶۴

Email: Mohamadi_Yahya@yahoo.com

چکیده

به منظور توصیف تغییرات منحنی رشد گوسفند نژاد عربی، برخی مدل‌های آماری (از قبیل ون برتالانفی، گومپرتز، برودی، لجستیک و ریچاردز) مقایسه شدند. بدین منظور از ۷۰۰۸ رکورد وزن بدن (از تولد تا سن ۳۰۰ روزگی) که به صورت روزانه از ۱۷۵۲ رأس طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۸ جمع‌آوری شده بود استفاده گردید. نکوبی برازش هر یک از این مدل‌ها با استفاده از معیارهای ضریب تبیین تصحیح‌شده، معیار اطلاعات آکایک، میانگین توان دوم خطا و انحراف از مشاهده تعیین گردید. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که مدل رشد برودی با داشتن بالاترین دقت ($R^2_{Adj} = 0/9778$) و کم‌ترین خطا ($MSE = 11/22$) و $Bias = 0/000$ بهتر از دیگر مدل‌های آماری منحنی رشد همه فاکتورهای محیطی مؤثر بر وزن بدن گوسفند عربی را توصیف کرده و به دنبال آن به ترتیب مدل‌های رشد ون برتالانفی، گومپرتز، ریچاردز و لجستیک قرار گرفتند. تابع برودی نشان داد که تفاوت منحنی رشد بین کلاسه‌های مختلف هریک از فاکتورهای محیطی جنس (نر یا ماده) و تیپ تولد (تک‌قلو یا دوقلو) در امتداد سن روند افزایشی دارد. بعد از انتخاب بهترین تابع توصیف، به عنوان هدف دوم پژوهش حاضر، پارامترهای رشد آن با استفاده از مدل مختلط غیرخطی نیز برآورد گردید. همه معیارهای ارزیابی مدل نشان دادند که سازگاری مدل مختلط برودی با داده‌ها بیشتر از مدل ثابت آن بوده و نرها نسبت به ماده‌ها تنوع درون‌گروهی بیشتری (۴۴/۱۹ کیلوگرم در مقابل ۲۷/۲۲ کیلوگرم) دارند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش به نظر می‌رسد که از مدل مختلط برودی می‌توان در تنظیم برخی برنامه‌های مدیریتی (از جمله برنامه‌های تغذیه‌ای، تعیین مشکلات مدیریتی و سن مناسب کشتار) گوسفند نژاد عربی کمک گرفت.

Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 115 pp: 127-136

Evaluation of mathematical functions in estimation of the growth function of Arabic sheep breedBy: Khabat Kheirabadi¹ & Yahya Mohammadi^{2*}

1: Young Researchers and Elite Club, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran

2: Assistant Pro., Department of Animal Science, University of Ilam, Iran

Received: May 2016**Accepted: September 2016**

In order to describe the growth curve of Arabic sheep breed, some statistical models (such as Von Bertalanffy, Gompertz, Brody, Logistic and Richards) were compared. In this order from 7008 records related to body weight (from birth to 300 days of age) that have been recorded as daily from 1752 head during the years 1995 to 2009 were used. Goodness of fit for individual growth model was determined using adjusted multiple coefficient of determination, Akaike's information criterion, mean square error and Bias. The results of the present research indicate that Brody growth model with the highest accuracy ($R^2_{Adj} = 0.9778$) and the lowest error (MSE = 11.22 and Bias = 0.000) could give a better fit than the other growth models and being followed by Von Bertalanffy, Gompertz, Richards and Logistic growth models, respectively. Brody function showed that the difference between the growth curve of various classes of each of the environmental factors of sex and type of birth has been increased with age. After choosing the best nonlinear fixed model, as the second aim of the present research, growth parameter estimations of this model were also obtained with nonlinear mixed model. All the models evaluation criteria indicated that the Brody mixed effect model fitted the data better than the corresponding fixed effect model and the males have greater diversity within group than females (44.19 kg vs. 27.22 kg). The results of this research suggest that the Brody mixed effect model can help in the regulation of some management programs (such as feeding programs, determination of management problems and optimum slaughtering age) of Arabic sheep breed.

Key words: Body weight, nonlinear least square procedure, nonlinear mixed-effect model.**مقدمه**

مواد مغذی مورد نیاز جهت ارائه برنامه‌های تغذیه‌ای بهینه ممکن خواهد شد (نیکخواه و همکاران، ۱۳۸۸). با استنباط از شکل منحنی مذکور، پرورش‌دهندگان می‌توانند ضرورت یا عدم ضرورت تغییر برنامه‌های تغذیه‌ای، مدیریتی و بهداشتی گله را تا حدودی تشخیص دهند (رحیمی کاکلکی و همکاران، ۱۳۹۳). از جمله راه‌های پیش‌بینی نرخ رشد، استفاده از مدل‌های رشد است. مدل‌های رشد ابزار مدیریتی مناسبی برای درک چگونگی اثر محیط بر صفات رشد و کمک به بهبود استراتژی‌های پرورش به شمار می‌آیند (Loibel و همکاران، ۲۰۱۰). به طوری که، از پارامترهای توصیف‌کننده منحنی رشد (به عنوان خروجی برازش مدل‌های رشد) می‌توان در جهت تغییر روابط بین سن و وزن بدن

صفات رشد از دیرباز همواره مورد توجه پرورش‌دهندگان و اصلاح‌گران دام بوده است. رشد به عنوان یک شاخص در سیستم زیستی، عبارت است از میزان تغییرات وزن بدن در واحد زمان (Bathaei and Leory, 1996). صفت رشد یک تابع پیوسته در طول حیات است (از جنینی تا بزرگسالی)، لذا جهت ارزیابی آن باید نرخ رشد و یا افزایش وزن در مراحل مختلف زندگی حیوان استفاده شود (Arango and Van Vleck, 2002). به طور کلی توصیف نموداری تغییرات رشد در طول یک دوره زمانی خاص را منحنی رشد می‌نامند (Keskin و همکاران، ۲۰۱۰). در واقع هدف از ترسیم منحنی رشد، پیش‌بینی نرخ رشد در مراحل مختلف پرورش حیوان است که در نتیجه آن شناخت

عملکرد برخی توابع غیرخطی در توصیف ریاضی منحنی رشد آن‌ها پرداخته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور ارزیابی فنوتیپی عملکرد رشد گوسفند نژاد عربی، از تعداد ۲۲۱۳۹ رکورد وزن بدن (از تولد تا یک‌سالگی) جمع‌آوری شده از ۹۷۷۶ رأس توسط سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۸ استفاده شد. ویرایش و آماده‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (SAS 9.1.3) صورت گرفت. با تجزیه باقی‌مانده‌ها و استفاده از سه آماره: تفاوت در برازش^۱، تفاوت در بتا^۲ و فاصله کوک^۳ داده‌های پرت شناسایی و از فایل نهایی حذف شدند (حذف ۰/۰۹ کل داده‌ها). به دلیل ناکافی بودن تعداد مشاهدات ثبت شده برای سنین بالاتر از ۳۰۰ روزگی (شکل ۱)، تنها از رکوردهای مربوط به وزن تولد تا سن ۳۰۰ روزگی (حذف ۰/۰۰۳ داده‌ها) حیواناتی که ۴ مشاهده داشتند (حذف ۰/۶۵ داده‌ها) استفاده شد. در نهایت برازش توابع غیرخطی وان برتالانفی، گومپرتز، برودی، فرم تعمیم‌یافته لجستیک و ریچاردز در چگونگی تشریح رابطه بین سن و وزن ۱۷۵۲ رأس گوسفند نژاد عربی (دارای ۷۰۰۸ رکورد وزن بدن) مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۱).

(از طریق انتخاب) بهره گرفت (Kachman and Gianola, 1984). در واقع مدل‌های رشد، توابع رگرسیون غیرخطی هستند که قادرند تغییرات صفت رشد را در مقاطع مختلفی از یک بازه زمانی مشخص پیش‌بینی کرده و با در اختیار قرار دادن این اطلاعات در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و اصلاحی (از قبیل شناخت و تأمین نیازهای غذایی و بهداشتی، تصمیم‌گیری برای ادامه پرورش یا حذف حیوان و ...) ایفاء نقش کنند (Bahreini Behzadi و همکاران، 2014).

گزارش‌های متعددی برای مدل‌سازی رشد نژادهای مختلف گوسفند وجود دارد (Bathaei and Leory, 1996؛ Gbangboche و همکاران، 2008؛ Canaza-Cayo و همکاران، 2015)، اما نتایج پژوهش‌های مختلف از حیث تعیین مناسب‌ترین مدل ریاضی و یا مقدار پارامترهای توصیف‌کننده منحنی رشد آن‌ها تا حدود زیادی با یکدیگر متفاوت است که بیانگر تفاوت بین جمعیتی و در نتیجه ضرورت مدل‌سازی رشد برای هر جمعیت به صورت مجزا است (Lupi و همکاران، ۲۰۱۵). علیرغم مطالعات انجام شده روی برخی دیگر نژادهای ایرانی (Bahreini Behzadi و همکاران، 2014؛ Ghavi Hossein-Zadeh, 2015) اطلاعات جامعی از پارامترهای رشد گوسفند عربی وجود ندارد، لذا تحقیق حاضر باهدف برآورد دقیق پارامترهای توصیف‌کننده منحنی رشد نژاد مذکور به مقایسه

جدول ۱- مدل ریاضی توابع مورد استفاده در توصیف منحنی رشد گوسفند نژاد عربی.

تعداد پارامتر	تابع [†]	مدل
۳	$y_{ij} = a_i \left[1 - b_i e^{(-k_i t_j)} \right]^3 + \varepsilon_{ij}$	ون برتالانفی (Von Bertalanffy, 1957)
۳	$y_{ij} = a_i e^{(-b_i) \exp(-k_i t_j)} + \varepsilon_{ij}$	گومپرتز (Laird, 1966)
۳	$y_{ij} = a_i \left[1 - b_i e^{(-k_i t_j)} \right] + \varepsilon_{ij}$	برودی (Brody, 1945)
۳	$y_{ij} = a_i \left[1 + e^{(-k_i t_j)} \right]^{-M_i} + \varepsilon_{ij}$	لجستیک (Nelder, 1961)
۴	$y_{ij} = a_i \left[1 - b e^{(-k_i t_j)} \right]^{M_i} + \varepsilon_{ij}$	ریچاردز (Richards, 1959)

[†] y_{ij} = وزن بدن تأمین حیوان در سن j روزگی؛ a = وزن بلوغ مجانبی؛ b = نرخ رشد از تولد تا بلوغ؛ k = نرخ بلوغ؛ m = درجه بلوغ در نقطه عطف منحنی؛ e = عدد نپر؛ ε = مقدار باقی‌مانده.

برقرار می‌کند. $AIC = 2k - 2\ln(L)$ که k تعداد پارامترهای آزاد مدل و L معرف حداکثر تابع درستنمایی است.

میانگین توان دوم خطا^۶ (MSE): معیار مرسوم برای برازش بهترین مدل که در بین متخصصان علم آمار از مطلوبیت خاصی برخوردار است. معادله کلی این معیار بدین صورت است: $MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ که n معرف تعداد مشاهدات، Y و \hat{Y} به ترتیب مقدار مشاهده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهند (Papajcsik and Boder, 1988).

انحراف از مشاهده (Bias): عبارت است از میانگین انحراف مقادیر پیش‌بینی از مشاهده شده $Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)$ (Oberstone, 1990). در واقع ارزیابی به معنای انحراف از حقیقت در مطالعات است. در مورد هر یک از مدل‌های رشد، بالاتر بودن R^2_{Adj} و کمتر بودن مقادیر AIC ، MSE و $Bias$ نشان از مطلوبیت بیشتر آن‌ها خواهد بود.

در این پژوهش بعد از مقایسه توابع مختلف، به‌عنوان هدف دوم تحقیق، سازگارترین مدل (از حیث معیارهای آماری مذکور) با استفاده از رویه مختلط غیرخطی^۷ و در نظر گرفتن اثر تصادفی حیوان مجدداً روی همه مشاهدات و نیز به تفکیک فاکتورهای محیطی مؤثر برازش شد تا اهمیت وجود اثر تصادفی روی دقت برآوردها نیز بررسی شود.

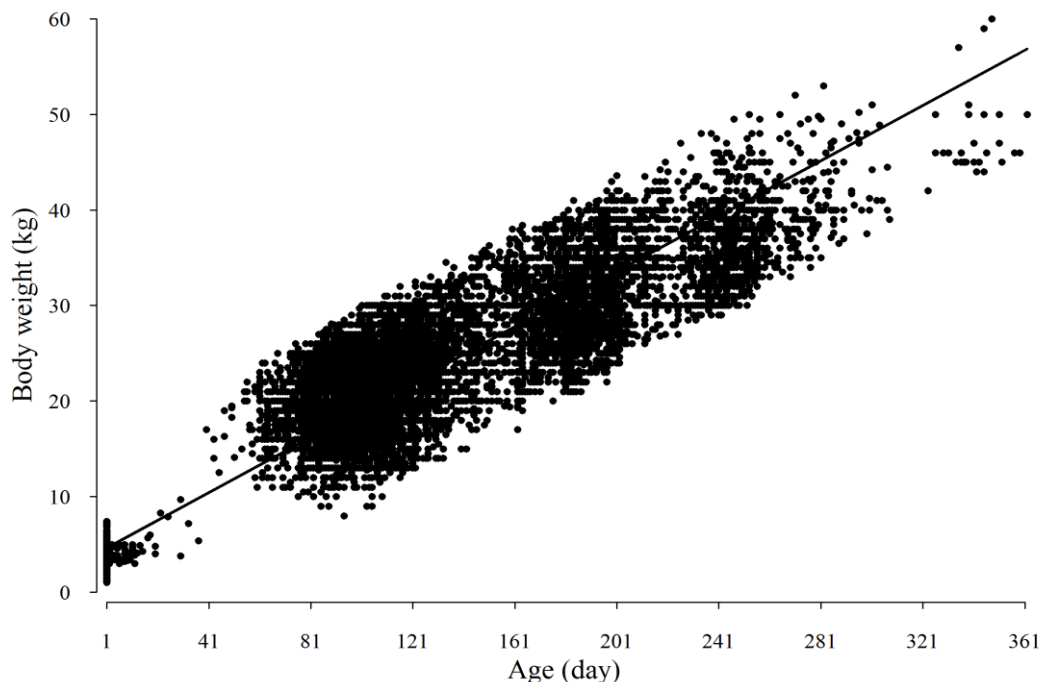
نتایج و بحث

در شکل ۱ نحوه تغییرات فنوتیپی صفت وزن تولد تا سن یک‌سالگی بره‌های نژاد عربی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود وزن نژاد مذکور به‌شدت تحت اثر سن دام بوده و تقریباً به‌صورت خطی در امتداد آن افزایش می‌یابد، بطوریکه با در نظر گرفتن سن به‌عنوان تنها متغیر مؤثر بر وزن بدن مشاهده شد که حدود ۹۱٪ تغییرات آن قابل توجه می‌باشد (در سطح احتمال ۰/۰۰۱).

با استفاده از برنامه SAS و با روش تکرار گاوس-نیوتن، داده‌ها برای توابع مختلف رشد برازش شدند. بدین ترتیب که ابتدا با استفاده از رویه حداقل مربعات غیرخطی^۴ هر یک از توابع روی تمام مشاهدات (۷۰۰۸ رکورد) و نیز به تفکیک فاکتورهای محیطی جنس بره (نر یا ماده)، تیپ تولد (تک‌قلو یا دوقلو)، فصل تولد (پائیز یا زمستان) و کلاس‌های مختلف سال تولد (۸۸-۸۴ و ۸۳-۷۹، ۷۸-۷۴) برازش شدند. مقادیر پیشین پارامترهای هر یک از مدل‌های مذکور به نحوی تعریف شدند که تابع موردنظر حتماً به نقطه همگرایی برسد. به دلیل معنی‌دار نشدن ($P > 0.05$) اثر سن مادر روی متغیر پاسخ (با اعتماد به نتایج آزمون معنی‌داری نرم‌افزار SAS با رویه Mixed)، برازشی روی آن صورت نگرفت. نکویی برازش این مدل‌ها با استفاده از معیارهای زیر انجام شد:

ضریب تبیین تصحیح‌شده (R^2_{Adj}): یک معیار سنجش مناسب برای نکویی برازش، ضریب تبیین چندگانه تصحیح‌شده است که به‌صورت $R^2_{Adj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p-1}\right) \times (1-R^2)$ تعریف می‌شود. در این معادله n ، p و R^2 به ترتیب معرف تعداد مشاهدات، تعداد پارامترهای مدل و ضریب تبیین چندگانه تصحیح‌نشده است. مزیت R^2_{Adj} به R^2 این است که مدل با تعداد پارامتر یکسان مقایسه شده و مقایسات با دقت بیشتری صورت می‌گیرد. معادله R^2 عبارت است از: $R^2 = 1 - (SSE / SST)$ که SSE و SST به ترتیب مجموع مربعات باقی‌مانده و کل را نشان می‌دهند.

معیار اطلاعات آکایک^۵ (AIC): این معیار بر پایه حداکثر درستنمایی و توسط Akaike (1974) جهت انتخاب بهترین مدل آماری پیشنهاد شده است. به‌منظور تصحیح تعداد پارامتر مدل‌های مورد مقایسه، عامل $2k$ در این معیار گنجانده شده است. به‌عبارت‌دیگر، این معیار تعادلی میان دقت مدل و پیچیدگی آن



شکل ۱- تغییرات فنوتیپی صفت رشد گوسفند عربی از تولد تا یک سالگی.

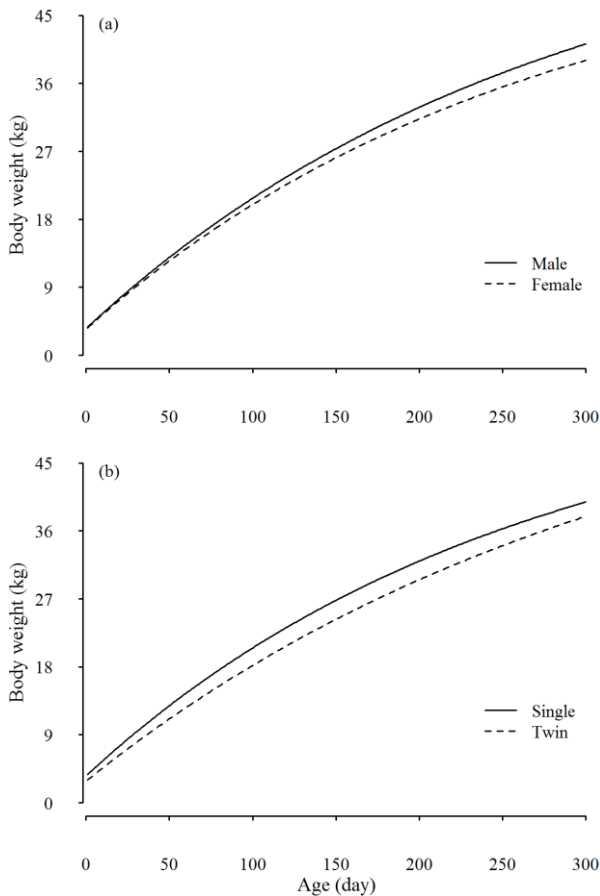
زودرس یا دیررس بودن بلوغ حیوان اشاره دارد (Brown و همکاران، 1976؛ Bathaei and Leory, 1996). بنابراین و با توجه به دامنه مقادیر پارامتر مذکور (۰/۰۰۹ تا ۰/۰۱۵) مشاهده می شود که مدل لجستیک نسبت به دیگر مدل های رشد گوسفند عربی را زودرس تر پیش بینی می کند (جدول ۲). چنین نتایجی برای گوسفند بلوچی، شال و Dwarf آفریقا نیز گزارش شده است (Bahreini و Gbangboche و همکاران، 2008؛ Bahreini و Behzadi و همکاران، 2014؛ Ghavi Hossein-Zadeh, 2015). در مورد اهمیت بیولوژیکی ارتباط بین پارامترهای وزن بلوغ (a) و نرخ بلوغ (k)، پژوهشگران مختلف به وجود رابطه منفی بین آنها اشاره داشته اند بطوریکه گزارش کرده اند دام های با وزن بلوغ کم تر زودتر نیز بالغ خواهند شد (Bathaei and Leory, 1996؛ Canaza-Cayo و همکاران، 2015). برای همه مدل های رشد استفاده شده در پژوهش حاضر نیز همبستگی بین پارامترهای مذکور منفی به دست آمد (از ۰/۸۶- برای مدل لجستیک تا ۰/۹۹- برای مدل برودی) که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Bahreini Behzadi و همکاران، 2014؛ Ghavi Hossein-Zadeh, 2015).

تخمین توابع ریاضی از پارامترهای توصیف کننده منحنی رشد تمام بره های نژاد عربی به همراه معیارهای استفاده شده در سنجش نکویی برآزش آنها در جدول ۲ ارائه شده است. مقایسه مقادیر بدست آمده برای هر سه شاخص توصیف کننده منحنی رشد (a ، b و k) حاکی از آن است که بین مدل های مختلف تفاوت معنی داری ($P \leq 0.05$) وجود دارد. در مورد پارامتر وزن بلوغ (a)، مدل های رشد لجستیک و برودی به ترتیب کمترین (37 ± 0.23 کیلوگرم) و بیشترین (56.8 ± 1.23 کیلوگرم) مقدار تخمین را به خود اختصاص دادند. دامنه این مقادیر با استفاده از مدل های رشد مختلف برای نژاد آواسی، بلوچی و شال، به ترتیب 38.9 (لجستیک) تا 47 (برودی) کیلوگرم، 36.4 (لجستیک) تا 47.6 (برودی) کیلوگرم و 34.2 (لجستیک) تا 48.8 (ریچاردز) کیلوگرم گزارش شده است (Topal و همکاران، 2004؛ Bahreini Behzadi و همکاران، 2014؛ Ghavi Hossein-Zadeh, 2015). در مورد پارامتر b (شاخص نرخ رشد)، کمترین و بیشترین برآورد به ترتیب برای مدل ریچاردز (-0.008 ± 0.23) و گومپرتز (2.284 ± 0.019) مشاهده شد. پارامتر نرخ بلوغ (k) سرعت رشد تا رسیدن به وزن بلوغ را تعیین می کند، بطوریکه بزرگ یا کوچک بودن این مقدار به ترتیب به

جدول ۲- تخمین پارامترها^۱ و خطای استاندارد هر یک از مدل‌های رشد و معیارهای استفاده شده در سنجش نکویی آن‌ها^۲.

مدل	a	b	k	m	R^2_{Adj}	AIC	MSE	Bias
ون برتالانفی	۴۱/۶۲ ^b (± ۰/۳۸)	۰/۵۵۱ ^c (± ۰/۰۳)	۰/۰۰۹ ^c (± ۰/۰۰۰)	-	۰/۹۷۷۳	۲۸۳۴۴	۱۱/۷۲	۰/۰۳۶
گومپرتز	۳۸/۷۶ ^c (± ۰/۲۸)	۲/۲۸۴ ^a (± ۰/۰۱۹)	۰/۰۱۲ ^b (± ۰/۰۰۰)	-	۰/۹۷۶۰	۲۸۵۰۲	۱۲/۰۷	۰/۰۶۵
برودی	۵۶/۷۸ ^a (± ۱/۲۳)	۰/۹۳۹ ^b (± ۰/۰۰۲)	۰/۰۰۴ ^d (± ۰/۰۰۰)	-	۰/۹۷۷۸	۲۸۱۰۸	۱۱/۲۲	۰/۰۰۰
لجستیک	۳۶/۹۸ ^d (± ۰/۲۳)	-	۰/۰۱۵ ^a (± ۰/۰۰۰)	۳/۱۸۴ ^a (± ۰/۰۲۷)	۰/۹۷۵۳	۲۸۶۶۷	۱۲/۴۵	۰/۰۷۸
ریچاردز	۳۸/۷۴ ^c (± ۰/۳۰)	-۰/۰۰۸ ^d (± ۰/۰۰۴)	۰/۰۱۲ ^b (± ۰/۰۰۰)	-۲۸۲/۸۱ ^b (± ۱۳۴/۸)	۰/۹۷۶۱	۲۸۵۰۶	۱۲/۰۸	۰/۰۶۵

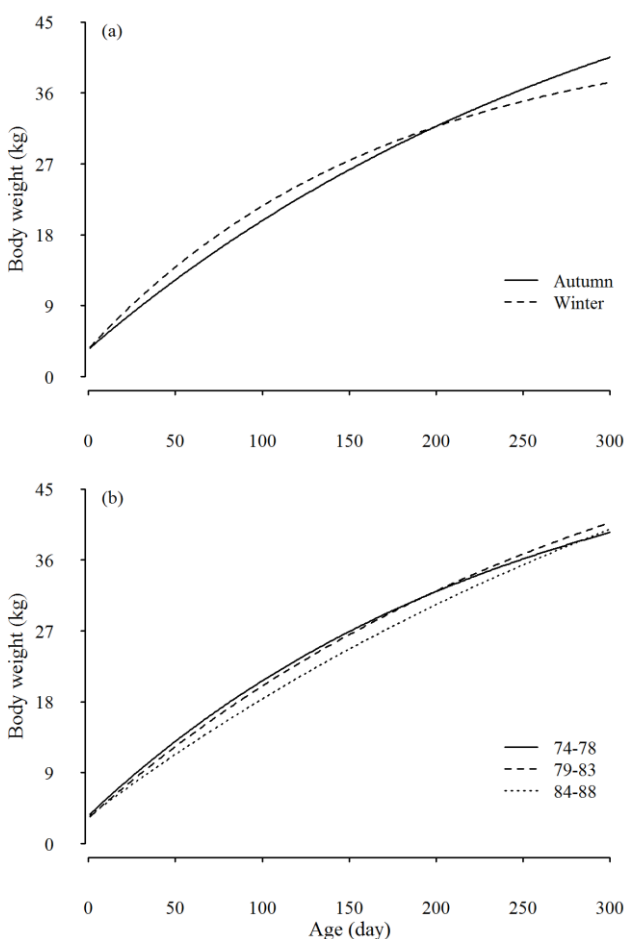
^۱ حروف غیرمشترک، بیانگر تفاوت معنی‌دار بین پارامترها در سطح ۵ درصد می‌باشد. R^2_{adj} = ضریب تبیین تصحیح‌شده؛ AIC = معیار اطلاعات آکایک، MSE = میانگین مربعات مانده-ها؛ Bias = انحراف از مشاهده.



شکل ۲- برازش مدل برودی در توصیف منحنی رشد بره‌های نژاد عربی به تفکیک جنس (a) و تیپ (b) تولد.

ارزیابی کلی معیارهای سنجش نکویی مدل (R^2_{Adj} , AIC, MSE و Bias) نشان داد که در مورد همه مشاهدات (جدول ۲)، هماهنگی با نتایج Bahreini Behzadi و همکاران (2014) و Gbangboche و همکاران (2008)، تابع برودی با داشتن بالاترین دقت ($R^2_{Adj} = 0/9778$) و کم‌ترین خطا ($MSE = 11/22$) و $Bias = 0/000$ بهتر از دیگر مدل‌های ریاضی منحنی رشد گوسفند عربی را برآزش می‌کند. به دنبال آن به ترتیب مدل‌های رشد وان برتالانفی، گومپرتز و ریچاردز قرار داشتند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، تابع لجستیک با داشتن کمترین مقدار برای معیار R^2_{Adj} و بیشترین مقدار برای دیگر معیارهای سنجش نکویی مدل (AIC, MSE, Bias) نمی‌تواند پیش‌گوی مناسبی برای به تصویر کشیدن الگوی رشد نژاد مذکور باشد.

تفاوت منحنی رشد بین گروه‌های متفاوت را به تغییرات شرایط آب و هوایی (نظیر تفاوت نزولات جوی)، تغییرات به وجود آمده طی سال‌های اجرای برنامه‌های اصلاحی، مدیریت پرورش و نحوه تغذیه مادران قبل از جفت‌گیری نسبت داده‌اند (سرای و همکاران، ۱۳۹۲؛ رحیمی کاکلکی و همکاران، ۱۳۹۳). اما در مورد داده‌های پژوهش حاضر، مقایسه منحنی رشد کلاسه‌های مختلف فاکتور محیطی سال تولد (که به وضوح بیانگر اُفت عملکرد آنهاست؛ شکل b3) به نبود و یا عدم موفقیت برنامه‌های اصلاحی اجرا شده در بهبود عملکرد صفت وزن زنده بره‌های نژاد عربی اشاره دارند.



شکل ۳- برازش مدل برودی در توصیف منحنی رشد بره‌های نژاد عربی به تفکیک فصل (a) و سال (b) تولد.

به دلیل برتری مدل برودی در برآورد پارامترهای منحنی رشد داده‌های پژوهش حاضر، تنها منحنی رشد فاکتورهای محیطی برای این مدل نمایش داده شده است (شکل‌های ۲ و ۳). همان‌طور که ملاحظه می‌شود تفاوت پیش‌بینی صفت رشد بین کلاسه‌های مختلف جنس (شکل ۲a) و تیپ‌تولد (شکل ۲b) در ابتدای دوره حداقل و به تدریج در امتداد سن رو به افزایش بوده است. وجود تفاوت‌های هورمونی و فیزیولوژیکی بین دو جنس مختلف (Naesholm and Danell, 1996)، بالاتر بودن وزن نرها را توضیح می‌دهد. از حیث تیپ‌تولد نیز پائین بودن عملکرد دوقلوها را می‌توان به محدودیت مادران در تقویت همزمان چند جنین در طی بارداری و نیز تأمین ناکافی شیر بره‌های تازه متولد شده نسبت داد (Gbangboche و همکاران، 2008).

در مورد منحنی رشد فصل تولد (شکل 3a) مشاهده می‌شود که برای بره‌های متولد فصل پائیز نسبت به زمستان از تولد تا سن ۲۰۰ روزگی عملکردی پایین‌تر اما بعد از آن نتیجه عکس مورد انتظار است. صرف‌نظر از تأثیرپذیری پتانسیل رشد بره‌ها از تغییرات شرایط محیطی، تفاوت کمی و کیفی علوفه و مواد متراکم در فصول مختلف (Gbangboche و همکاران، ۲۰۰۸؛ Canaza-Cayo و همکاران، ۲۰۱۵)، می‌توان گنجاندن تأمین دستی نیازهای غذایی گله در فصل زمستان و نیز عدم راهپیمایی میش‌های زمستان‌زا را عامل برتری عملکرد بره‌های آنها در نیمه اول بازه زمانی مورد بررسی به شمار آورد. در تفسیر نتایج بدست آمده از نظر جابجایی توانایی رشد بره‌های فصول مختلف پس از سن ۶ ماهگی، می‌توان توضیح داد که در این سن بره‌های متولد فصل زمستان مجبور به تأمین نیازهای غذایی خود از منابع خشبی پائیز بوده‌اند، درحالی‌که بره‌های متولد فصل پائیز در سن مشابه از منابع مطلوب‌تر تابستان تغذیه کرده‌اند؛ در نتیجه عملکرد بهتری برای آنها مورد انتظار خواهد بود. بر این اساس و با فرض پذیرش عدم تأثیرپذیری عملکرد رشد در شرایط آب و هوایی مختلف استان خوزستان (عالم زاده و همکاران، ۱۳۸۶)، اولویت استفاده از بره‌های متولد فصل پائیز جهت اجرای برنامه‌های پرواری استان مذکور پیشنهاد می‌گردد. از جهت سال‌های مختلف نیز به‌طور کلی

درون گروهی جنس نر (σ_u^2) به وضوح بیشتر از جنس ماده است، لذا افزایش دقت بیشتر برای جنس نر نسبت به جنس ماده با منظور کردن اثر تصادفی حیوان دور از انتظار نخواهد بود. از طرف دیگر، نتایج نشان داد که منظور نکردن اثر تصادفی حیوان سبب برآورد بیش از حد واقعی پارامتر مرتبط با برآورد وزن بلوغ نژاد مذکور (به ویژه در مورد جنس ماده) خواهد شد (جدول ۳).

به طور کلی، معیارهای سنجش نکویی مدل هماهنگ با نتایج گزارش شده برای گوسفند بلوچی (Bahreini Behzadi و همکاران، ۲۰۱۴) نشان دادند که در نظر گرفتن اثر تصادفی حیوان به طور قابل توجهی سبب بهبود دقت برآوردها خواهد شد (جدول ۳؛ فقط نتایج برای کل مشاهدات و فاکتور محیطی جنس نشان داده شده است). همان طور که ملاحظه می شود تفاوت

جدول ۳- مقایسه مدل های حداقل مربعات (NLIN) و مختلط (NLMIXED) غیر خطی.

NLMIXED			NLIN			پارامتر [†]
ماده ها	نرها	همه مشاهدات	ماده ها	نرها	همه مشاهدات	
۰/۹۹۰۸	۰/۹۹۲۴	۰/۹۹۱۴	۰/۹۷۸۳	۰/۹۷۸۰	۰/۹۷۷۸	R^2_{Adj}
۱۸۰۴۶	۸۷۸۸	۲۶۹۰۷	۱۸۷۳۸	۹۲۶۵	۲۸۱۰۸	AIC
۵۱/۹۱	۵۸/۹۲	۵۳/۷۰	۵۵/۹۲	۶۰/۴۸	۵۶/۷۸	a (وزن بلوغ)
۰/۹۳۵	۰/۹۴۲	۰/۹۳۷	۰/۹۳۸	۰/۹۴۲	۰/۹۳۹	b (نرخ رشد)
۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	k (نرخ بلوغ)
۵/۹۳	۵/۲۳	۵/۷۲	۱۰/۸۰	۱۱/۳۷	۱۱/۲۲	σ_e^2
۲۷/۲۲	۴۴/۱۹	۳۳/۰۱	-	-	-	σ_u^2

[†] σ_e^2 = واریانس باقی مانده؛ σ_u^2 = واریانس اثر تصادفی.

نتیجه گیری

منحنی رشد این نژاد توصیه می شود اثر تصادفی حیوان نیز در برازش مدل های رشد مورد توجه قرار گیرد.

گرچه امکان توصیف کلی شاخصه های رشد تنها بر مبنای مشاهدات فنوتیپی مقدور نیست، اما بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق مدل رشد غیرخطی برودی با داشتن بالاترین دقت و کمترین خطا در توصیف صفات رشد گوسفند عربی می تواند به عنوان ابزار مدیریتی مناسبی جهت در اختیار قرار دادن احتیاجات غذایی و نیز کمک به اتخاذ تصمیمات پرورشی (از جمله تعیین سن مناسب کشتار، مناسب ترین دوره پرور و ...) مورد استفاده قرار گیرد. جهت افزایش صحت ارزیابی ها و تعیین دقیق تر پارامترهای

پانویس

- 1- DFITTS
- 2- DFBETAS
- 3- Cook's Distance
- 4- Nonlinear Least Squares Model (NLIN)
- 5- Akaike information criterion (AIC)
- 6- Mean square error (MSE)
- 7- Nonlinear Mixed-Effect Model (NLMIXED)

منابع

- growth curves and estimation of genetic parameters for growth curve parameters in Peruvian young llamas (*Lama glama*). *Small Ruminant Research*. 130:81-89.
- Gbangboche, A., Glele-Kakai, R., Salifou, S., Albuquerque, L. 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. (2015). Modeling the growth curve of Iranian Shall sheep using non-linear growth models. *Small Ruminant Research*. 130:60-66.
- Kachman, S.D. and Gianola, G. (1984). A Bayesian estimator of variance and covariance components in nonlinear growth models. *Journal of Animal Science*. 59:176.
- Keskin, I., Dag, B., Sariyel, V. and Gokmen, M. (2010). Estimation of growth curve parameters in Konya Merino sheep. *South African Journal of Animal Science*. 39:163-168.
- Laird A. K. 1966. Postnatal growth of birds and mammals. *Growth*. 30:349-363.
- Lupi, T.M., Nogales, S., León, 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.
- Loibel, S., Andrade, M.G., do Val, J.B. and de Freitas, A.R. (2010). Richards growth model and viability indicators for populations subject to interventions. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 82:1107-1126.
- Naesholm, A. and Danell, O. (1996). Genetic relationships of lamb weight, maternal ability, and mature ewe weight in Swedish finewool sheep. *Journal of Animal Science-Menasha then Albany then Champaign Illinois*. 74:329-339.
- Nelder, J. (1961). The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*. 17:89-110.
- رحیمی کاکلیکی، م.، فرهنگ‌فر، ه.، منتظر تربتی، م. ب. و اقبال، ع. (۱۳۹۳). توصیف منحنی رشد در نژادهای مختلف گوسفندان ایران با استفاده از تابع غیرخطی گمپرتز. مجله تحقیقات دام و طیور. شماره ۴، صص ۳۸-۲۲.
- سرایبی، ح.، فرهنگ‌فر، ه. و نعیمی‌پور، ح. (۱۳۹۲). تغییرات فنوتیپی صفت حداکثر سرعت رشد روزانه در بره‌های بلوچی. نشریه پژوهش‌های علوم دامی ایران. شماره ۱، صص ۷۶-۶۹.
- عالم زاده، ب.، کردونی، ع. و نوروزی، س. (۱۳۸۶). تعیین سن و فصل مناسب پرواربندی گوسفند در خوزستان. پژوهش و سازندگی. شماره ۷۷، صص ۱۱۲-۱۰۵.
- نیکخواه، م.، متقی‌طلب، م. و زواره، م. (۱۳۸۸). مقایسه "مدل‌های رشد هایپربولستیک" با مدل‌های رشد کلاسیک در توصیف منحنی رشد جوجه‌های نر گوشتی سویه راس. مجله علوم دامی ایران. شماره ۴۰، صص ۷۸-۷۱.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automatic Control*. 19:716-723.
- Arango, J. and Van Vleck, L.D. (2002). Size of beef cows: early ideas, new developments. *Genetics and Molecular Research*. 1:51-63.
- Bahreini Behzadi, M., Aslaminejad, A., Sharifi, A. and Simianer, H. (2014). Comparison of Mathematical Models for Describing the Growth of Baluchi Sheep. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 16:57-68.
- Bathaei, S. and Leroy, P. (1996). Growth and mature weight of Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Research*. 22:155-162.
- Brody, S. (1945). Bioenergetics and growth. *Reinhold Publishing, New York*.
- Brown, J., Fitzhugh, H. and Cartwright, T. (1976). A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Science*. 42:810-818.
- Canaza-Cayoa, A.W., Huancab, T., Gutiérrezc, G.P. and Beltrán, P.A. (2015). Modelling of

