

آنالیز ژنتیکی چند صفت پارامترهای منحنی شیردهی گاو میش‌های خوزستان

جمال فیاضی^۱، سعید نیسی^{۲*}، هدایت اله روشنفکر^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۳

^۱ استاد گروه علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

^۲ دانشجوی دکتری گروه علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

* مسئول مکاتبه: phd.saeid.neysi268@asnruk.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعه: منحنی‌های شیردهی، اغلب به منظور ارائه خلاصه‌ای از الگوی تولید شیر، کار آیی بیولوژیکی و اقتصادی حیوان استفاده می‌شوند. هدف: در این پژوهش، به منظور توصیف منحنی شیردهی گاو میش‌های خوزستان، از شش مدل ریاضی (وود، ویلمینک، چندجمله‌ای معکوس، لگاریتمی مختلط، علی و شفر و دایجکسترا) استفاده شد. روش کار: بدین منظور از ۱۰۳۷۶۰ رکورد تولید شیر روز آزمون ۱۴۲۸۰ رأس گاو میش تولید شیر دوره‌ی شیردهی اول که در سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۹ توسط مرکز جهاد کشاورزی استان خوزستان ثبت و جمع‌آوری شده بود، استفاده شد. فراسنجه‌های منحنی شیردهی با استفاده از رویه‌ی NLIN نرم‌افزار SAS نسخه ۹.۴ و رکوردهای روز آزمون برآورد گردید. مقایسه‌ی شایستگی مدل‌ها بر اساس ضریب تبیین (R^2)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) و معیار اطلاعات آکائیک (AIC) انجام شد. نتایج: مدل ریاضی وود با داشتن بالاترین ضریب تبیین و مقادیر پایین‌تر شاخص RMSE و AIC نسبت به مدل‌های دیگر، بهترین برازش منحنی شیردهی را ارائه داد. این مدل با دقت بیشتری نسبت به سایر توابع، می‌تواند زمان رسیدن به اوج تولید شیر را برآورد نمایند. اوج تولید شیر گاو میش‌های خوزستان (۸/۳۰ کیلوگرم در روز) به‌طور متوسط در هفته‌ی دهم (روز ۶۹) پس از زایش بود. اثر فصل زایش بر روی صفات شیردهی معنی‌داری نبود درحالی‌که سال زایش اثری معنی‌دار داشت ($P < 0/05$). مقدار وراثت‌پذیری صفات منحنی شیردهی در آغاز تولید (a)، شیب گامه‌ی افزایشی (b) و شیب گامه‌ی کاهش‌ی (c) به ترتیب ۰/۵۷، ۰/۲۷ و ۰/۴۸ بود. همبستگی ژنتیکی بین صفات منحنی شیردهی در دامنه $-0/55$ (a و b) تا $0/196$ (b و c) قرار داشت. نتیجه‌گیری نهایی: به‌طور کلی، ارزیابی مدل‌های توصیف‌کننده منحنی شیردهی با استفاده از مدل‌های غیر خطی و تجزیه و تحلیل چند صفتی، گامی مؤثر در شناسایی گاو میش‌های با ظرفیت ژنتیکی بالا جهت بهبود و افزایش بازده تولید شیر ایفا می‌نماید.

واژگان کلیدی: گاو میش خوزستان، منحنی شیردهی، مدل‌های ریاضی، وراثت‌پذیری

مقدمه

(کازمی و همکاران ۲۰۱۸). بهبود عملکرد صفات اقتصادی دام‌های اهلی از طریق برنامه‌های اصلاح نژادی می‌تواند نقش قابل توجهی در جهت تأمین نیازهای پروتئینی جمعیت انسانی ایفا نماید. گاو میش

در سال‌های اخیر، افزایش جمعیت انسانی از یک‌سو و کمبود نهاده‌های دامی از سوی دیگر به چالش اساسی در تأمین نیازهای پروتئینی بشر تبدیل شده است

برای برآورد سطح زیر منحنی کل دوره‌ی شیردهی برگزیده شد (بوستان و همکاران ۲۰۱۰). همبستگی ژنتیکی بین تولید شیر ۳۰۵ روز و پارامترهای a ، b ، c منحنی شیردهی گاوهای هلشتاین ایالت میشیگان به ترتیب $0/37$ ، $0/40$ و $0/91$ گزارش شده است (فریس و همکاران ۱۹۸۵). وراثت‌پذیری پارامترهای a ، b ، c منحنی شیردهی گاوهای هلشتاین در شکم اول به ترتیب $0/28$ ، $0/01$ و $0/01$ و شکم دوم به ترتیب $0/31$ ، $0/02$ و $0/03$ و شکم سوم به ترتیب $0/29$ ، $0/01$ و $0/03$ گزارش شد (آرین فر و همکاران ۲۰۲۰). تداوم شیردهی شاخص مناسبی برای بررسی وضعیت سلامت گاوهای شیری است (موهانتی و همکاران ۲۰۱۷). در تحقیقی بین صفت تداوم شیردهی گاوهای هلشتاین و پارامتر مرتبط با حداکثر تولید، همبستگی مثبت و با تغییرات شیب منحنی بعد از رسیدن به اوج، همبستگی منفی وجود داشت (آرین فر و همکاران ۲۰۲۰). بررسی منابع مختلف نشان داد که برآزش مدل‌های منحنی شیردهی اغلب به صورت تک صفتی ارزیابی شده است (طاهری دزفولی و همکاران ۱۳۹۹ و سلطانی و همکاران ۱۳۹۴). در تجزیه و تحلیل تک صفتی کوواریانس ژنتیکی بین صفات در نظر گرفته نمی‌شود و به همین دلیل از دقت پایین‌تری برخوردار می‌باشد؛ بنابراین تجزیه و تحلیل چند صفتی، مدلی مناسب و بهینه برای ارزیابی دقیق‌تر حیوانات به شمار می‌رود. لذا با توجه به اهمیت و ظرفیت ویژه گاو میش خوزستان در تولید شیر، مطالعه حاضر باهدف برآزش منحنی شیردهی جمعیت گاو میش خوزستان با استفاده از توابع ریاضی مختلف و تجزیه و تحلیل چند صفتی فراسنجه‌های منحنی شیردهی گاو میش انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور برآزش توابع ریاضی توصیف‌کننده منحنی شیردهی (جدول ۱) و برآورد پارامترهای ژنتیکی گاو میش‌های خوزستان، از ۱۰۳۷۶۰ رکورد تولید شیر

خوزستانی به دلیل توانایی سازگاری با شرایط نامساعد محیطی، تغذیه از مواد خشبی و کیفیت بالای تولیدات، به حیوانی راهبردی در سطح استان خوزستان تبدیل شده است (طاهری دزفولی و همکاران ۲۰۱۸).

منحنی شیردهی به صورت تصویر گرافیکی از تولید شیر در طول یک دوره شیردهی تعریف می‌شود (گراسمن و کوپس ۱۹۸۸). این تکنیک نقش مهمی در انتخاب دام‌های مولد و حذف حیوانات کم تولید ایفا کرده و اتخاذ راهبردهای مهم اقتصادی را تسهیل می‌نماید. (لایلسون و همکاران ۲۰۰۵). مدل‌سازی منحنی شیردهی با استفاده از مدل‌های ریاضی، ابزار مدیریتی مفیدی برای پیش‌بینی تولید شیر در طول دوره‌ی شیردهی است. با استفاده از توابع ریاضی، می‌توان زمان و میزان اوج تولید و شیب مرحله‌ی افزایشی و کاهش منحنی شیردهی را برآورد نمود و با انتخاب بهینه، شکل منحنی شیردهی را بسته به هدف موردنظر بهبود بخشید (فریس و همکاران ۱۹۸۵). منحنی شیردهی به دودسته استاندارد و غیراستاندارد طبقه‌بندی می‌شوند. منحنی شیردهی غیراستاندارد معمولاً اوج تولید نداشته و روندی کاهشی یا افزایشی دارد (فریس و همکاران ۱۹۸۵). از دلایل ایجاد منحنی‌های غیراستاندارد می‌توان به فقدان و یا کمبود رکورد شیر قبل از اوج تولید اشاره کرد (سahین و همکاران ۲۰۱۵). تاکنون مدل‌های ریاضی بسیاری برای برآزش منحنی شیردهی توسعه یافته است. برودی و همکاران (۱۹۲۳) برای اولین بار توابع ریاضی را برای توصیف منحنی شیردهی مورد استفاده قرار دادند. پس از معرفی مدل وود، برآزش منحنی‌های شیردهی توسط توابع ریاضی به صورت چشمگیری مورد استفاده قرار گرفت. در پژوهشی بر روی منحنی شیردهی گاوهای هلشتاین، توابع گامای ناقص، رگرسیون چندجمله‌ای، چندجمله‌ای معکوس، ولمینک و لگاریتمی مختلط مورد برآزش قرار گرفت و تابع گامای ناقص، مدل مناسب‌تری

معاونت امور دام استان خوزستان جمع آوری شده بود، استفاده گردید.

روز آزمون ۱۴۲۸۰ رأس گاو میش دوره زایش اول (۵۸۷ گله) که طی سال های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۹ توسط

Table1- Mathematical functions describing the lactation curve of Khuzestan buffalo

Function	Number of parameters	Model	Reference
incomplete gamma function	3	$Y_t = at^b e^{-ct}$	(Wood, 1967)
Wilmink	3	$Y_t = a + bt + c \exp^{-0.05t}$	(Wilmink, 1987)
inverse polynomial	3	$Y_t = \frac{1}{a + bt^{0.5} + c \ln(t)}$	(Nelder, 1966)
mixed log	3	$Y_t = a + bt + c \exp^{-0/05t}$	Macciotta et al., (2005)
Ali and Schaefer	5	$Y_t = a + b\left(\frac{t}{305}\right) + c\left(\frac{t}{305}\right)^2 + d \ln\left(\frac{305}{t}\right) + k\left(\ln\left(\frac{305}{t}\right)\right)$	Ali and (Schaeffer, 1987)
Dijkstra	4	$Y_t = a \exp\left[\left(\frac{b}{c}\right)(1 - \exp^{-ct}) - dt\right]$	Dijkstra et al., (1997)

برآورد پارامترهای توابع ریاضی برای جامعه‌ی گاو میش‌ها، از شاخص‌های ارائه شده در جدول ۲ به منظور ارزیابی مدل‌ها و انتخاب مدل برتر توصیف کننده منحنی شیردهی استفاده گردید.

در توابع جدول فوق، نمادهای Y و t به ترتیب نشان دهنده تولید شیر در زمان t و روز شیردهی می باشد. a, b, c, d, k پارامترهای منحنی شیردهی بوده که با مقیاس و شکل منحنی در ارتباط می باشند. پس از

Table 2- Evaluation indicators of models to determine the best function of lactation curve

Indicator	رمز	Equation
coefficient of discrimination	R^2	$R^2 = \frac{ssreg}{sst} = 1 - \frac{sse}{sst}$
Akaike information criterion	AIC	$AIC = n(\log(2\pi) + \log(sse) - \log(n)) + 2(n + p + 1)$
Mean squared error	MSE	$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}{n}$
root mean square error	RMSE	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}{n}}$

sse: Residual sum of square, sst: Total sum of square, p: Number of parameters, n: Number of observations

مختلف اثرات ثابت از آزمون توکی استفاده شد. دام‌های با تاریخ تولد و زایش نامشخص حذف شدند. در این پژوهش برآزش توابع ریاضی (جدول ۱) بر روی رکوردهای روز آزمون تولید شیر با استفاده از رویه‌ی نرم افزار SAS 9.4 انجام شد.

آماده سازی و ویرایش داده‌ها با نرم افزار EXCEL انجام گرفت و برای تجزیه واریانس و بررسی اثرات ثابت (فصل زایش و سال زایش، گله) بر صفات تولیدی از مدل خطی عمومی (GLM) نرم افزار SAS 9.4 استفاده گردید. برای مقایسه میانگین صفات در سطوح

تجزیه و تحلیل چند متغیره

پس از معرفی مدل برتر برازش کننده منحنی شیردهی جامعه گاومیش‌های خوزستان، با استفاده از رکوردهای روز آزمون تولید شیر و رویه NLIN نرم‌افزار SAS مدل برگزیده برازش و پارامترهای منحنی برای تک تک حیوانات جامعه برآورد گردید. تجزیه و تحلیل چند متغیره پارامترهای منحنی شیردهی (a,b,c) با استفاده از روش آماری حداکثر درست نمایی محدود شده و نرم‌افزار wombat انجام گرفت. مدل استفاده شده برای پارامترهای تحقیق حاضر و همچنین معادلات مدل مختلط (MME) به صورت زیر می‌باشد:

در مدل فوق، y_i بردار مشاهدات برای صفت i ام، b_i بردار اثرات ثابت برای صفت i ام، a_i بردار اثرات تصادفی حیوان برای صفت i ام و e_i بردار اثرات تصادفی باقیمانده برای صفت i ام است. x_i و z_i ماتریس ضرابی که رکوردهای صفت i ام را به ترتیب به اثرات ثابت و اثرات تصادفی حیوان مرتبط می‌نمایند. در این معادلات g_{ij} و R_{ij} به ترتیب عنصر ij ام ماتریس G^{-1} و R^{-1} می‌باشد.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_1 & 0 & 0 \\ 0 & z_2 & 0 \\ 0 & 0 & z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \\ \hat{b}_3 \\ \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \\ \hat{a}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1'R^{11}X_1 & X_1'R^{12}X_2 & X_1'R^{13}X_3 & X_1'R^{11}Z_1 & X_1'R^{12}Z_2 & X_1'R^{13}Z_3 \\ X_2'R^{21}X_1 & X_2'R^{22}X_2 & X_2'R^{23}X_3 & X_2'R^{21}Z_1 & X_2'R^{22}Z_2 & X_2'R^{23}Z_3 \\ X_3'R^{31}X_1 & X_3'R^{32}X_2 & X_3'R^{33}X_3 & X_3'R^{31}Z_1 & X_3'R^{32}Z_2 & X_3'R^{33}Z_3 \\ Z_1'R^{11}X_1 & Z_1'R^{12}X_2 & Z_1'R^{13}X_3 & Z_1'R^{11}Z_1 + A^{-1}g^{11}Z_1R^{12}Z_2 + A^{-1}g^{12}Z_1R^{13}Z_2 + A^{-1}g^{13} \\ Z_2'R^{21}X_1 & Z_2'R^{22}X_2 & Z_2'R^{23}X_3 & Z_2'R^{21}Z_1 + A^{-1}g^{21}Z_2R^{22}Z_2 + A^{-1}g^{22}Z_2R^{23}Z_2 + A^{-1}g^{23} \\ Z_3'R^{31}X_1 & Z_3'R^{32}X_2 & Z_3'R^{33}X_3 & Z_3'R^{31}Z_1 + A^{-1}g^{31}Z_3R^{32}Z_2 + A^{-1}g^{32}Z_3R^{33}Z_2 + A^{-1}g^{33} \end{bmatrix}^{-1}$$

$$\begin{bmatrix} X_1'R^{11}y_1 + X_1'R^{12}y_2 + X_1'R^{13}y_3 \\ X_2'R^{21}y_1 + X_2'R^{22}y_2 + X_2'R^{23}y_3 \\ X_3'R^{31}y_1 + X_3'R^{32}y_2 + X_3'R^{33}y_3 \\ Z_1'R^{11}y_1 + Z_1'R^{12}y_2 + Z_1'R^{13}y_3 \\ Z_2'R^{21}y_1 + Z_2'R^{22}y_2 + Z_2'R^{23}y_3 \\ Z_3'R^{31}y_1 + Z_3'R^{32}y_2 + Z_3'R^{33}y_3 \end{bmatrix}$$

بحث و نتایج

آماره‌های توصیفی صفت شیر در جدول ۳ ارائه شده است.

Table 3- Descriptive statistics for milk trait in Khuzestan buffaloes

Item	value
Number of records	103760
Mean (kg)	8.08
Maximum (kg)	27.50
Minimum (kg)	1
standard deviation (kg)	3.048
Coefficient of variation	37.87

بر اساس جدول نتایج، میانگین تولید شیر ۸/۰۴۸ کیلوگرم برآورد شد. مقادیر پارامترهای برآورد شده توابع برازش کننده منحنی شیردهی به همراه خطای استاندارد در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج، فراسنجه a که به عنوان سطح تولید اولیه شیر در نظر گرفته می‌شود در توابع وود، ویلمینک، چندجمله‌ای معکوس، لگاریتمی مختلط، علی و شفر و دایجکسترا به ترتیب ۶/۹۱، ۸/۶۴، ۰/۱۱۷، ۶/۷۸، ۱۶/۲۹ و ۸/۰۵۱ برآورد شد. به طور کلی، برآورد تولید اولیه شیر (پارامتر A) بین شش مدل ریاضی متفاوت بود و کمترین میزان آن در چندجمله‌ای معکوس به دست آمد.

این یافته‌ها با مطالعه طاهری دزفولی و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی داشت. بیشترین مقدار فراسنجه a منحنی شیردهی گاوهای هلشتاین در تابع علی و شفر گزارش شد که با نتایج حاضر همخوانی داشت (آرین فر و همکاران ۲۰۱۸). به نظر می‌رسد تفاوت در مقادیر a به تفاوت نژادی، گروه‌های ژنتیکی و مدیریت گله‌ها مرتبط می‌باشد (چگینی و همکاران ۲۰۱۵). پارامتر b که نشان‌دهنده شیب مرحله افزایشی منحنی شیردهی می‌باشد در مدل‌های ریاضی وود، ویلمینک، چندجمله‌ای معکوس، لگاریتمی مختلط، علی و شفر و دایجکسترا به ترتیب $۰/۰۵۷$ ، $۰/۰۳۷$ ، $۰/۰۴۱$ ، $۰/۲۰۵$ ، $۰/۴۸$ و $۰/۰۲۵$ برآورد شد که در دامنه مقادیر مطالعات پیشین نبود (سahین و همکاران ۲۰۱۵ و آرین فر و همکاران ۲۰۲۰). پارامتر c بیانگر شیب مرحله کاهش منحنی شیردهی است. در پژوهش حاضر بیشترین و کمترین مقدار این پارامتر به ترتیب در تابع ریاضی علی و شفر ($۴/۸۵$) و ویلمینک ($-۱/۳۷$) بدست آمد. در مطالعه‌ای با استفاده از تابع وود، پارامتر c منحنی شیردهی گاوهای هلشتاین ایران بالاتر ($۰/۰۳۲۷$) از نتایج مطالعه حاضر گزارش شد (چگینی و همکاران ۲۰۱۵). با توجه به این‌که مقادیر تمام پارامترهای منحنی شیردهی توابع گامای ناقص وود و چندجمله‌ای معکوس مثبت برآورد شد، بنابراین منحنی شیردهی توابع مذکور از نوع استاندارد بوده و سایر منحنی‌های توابع، غیراستاندارد می‌باشد. در سطح اثر فصل به دلیل شرایط آب و هوایی خوزستان، به دو گروه تابستان (اویل اردیبهشت تا اواخر مهر) و گروه زمستان (آبان تا فروردین) دسته‌بندی شد. بر اساس نتایج جدول ۵، اثر ثابت فصل زایش، اثر معنی‌داری روی پارامترهای منحنی شیردهی (a ، b و c) نداشت ($p > ۰/۰۵$). درحالی‌که اثرات ثابت سال زایش و گله بر تمام پارامترها مؤثر بود. شاخص‌های ارزیابی و مقایسه‌ی توابع ریاضی در جدول ۵ ارائه شده است. ضریب تعیین (R^2) که نشان‌دهنده تناسب مدل با ساختار داده‌ها می‌باشد، در

تابع گامای ناقص وود بالاترین مقدار نسبت به سایر توابع مورد مطالعه ($۰/۸۸۰۰۵۵$) بود و نشان داد که این مدل با اعتبار بیشتری منحنی شیردهی را توصیف می‌نماید که با یافته‌های سویسال و همکاران (۲۰۱۶) نیز همخوانی داشت. با این حال، برآورد کمتری از ضریب تبیین توسط ساهین و همکاران (۲۰۱۵) گزارش شد؛ بنابراین، می‌توان بیان کرد که ضریب تبیین به اندازه کافی واریانس منحنی‌های شیردهی را توصیف می‌نماید (سahین و همکاران ۲۰۱۵). بر اساس جدول ۶ ضریب آکائیک (AIC) در مدل گامای ناقص وود کمترین مقدار ($۵۱۶۸۵/۹۸$) و در مدل چندجمله‌ای معکوس بیشترین مقدار ($۵۱۹۰۵/۹۸$) برآورد شد. دامنه مقادیر RMSE از $۳/۰۳۷$ تا $۳/۰۴۷$ متغیر بود و تابع وود کمترین مقدار RMSE را نسبت به سایر مدل‌ها ارائه کرد. میانگین مربعات خطا (MSE) برای مدل‌های وود، ویلمینک، چندجمله‌ای معکوس، لگاریتمی مختلط، علی و شفر و دایجکسترا به ترتیب $۹/۲۲۸۰$ ، $۹/۲۵۸۱$ ، $۹/۲۴۴۵$ ، $۹/۲۳۹۳$ و $۹/۲۸۵۴$ بود؛ بنابراین، تابع گامای ناقص وود، شایستگی بیشتری جهت ارزیابی الگوی منحنی شیردهی گاو میش خوزستان داشت. در پژوهش دیگری، مدل دایجکسترا به‌عنوان مدل برتر جهت برآزش منحنی شیردهی گاوهای هلشتاین برگزیده شد (وال آرولا و همکاران ۲۰۰۴). سویسال و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای بر روی گاو میش‌های ایتالیایی رشد یافته در استان بولونیا گزارش کردند که مدل وود دارای اعتبار بیشتری جهت توصیف و برآزش منحنی شیردهی گاو میش می‌باشد. تابع وود با داشتن بیشترین ضریب تبیین ($۰/۹۴$) نسبت به مدل‌های ویلمینک، کابی و لی دو به‌عنوان مدل برتر برگزیده شد. در مطالعه دیگری، تابع چندجمله‌ای معکوس با داشتن بیشترین مقدار R^2 ($۹۹\%/۸$) و کمترین ریشه مجموع مربعات خطا ($۰/۰۵۵$) مناسب‌ترین مدل جهت توصیف منحنی شیردهی گاوهای نژاد ساهیوال می‌باشد (دانگر و گاندی ۲۰۱۳). در پژوهشی باربوسا و همکاران

منحنی شیردهی برگزیده شد که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی داشت.

(۲۰۰۷) در برازش منحنی شیردهی گاومیش‌های نژاد آمیخته، تابع گامای ناقص وود در میان هشت تابع مختلف ریاضی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل جهت برازش

Table 4- Parameter estimates for the different lactation curve models of Khuzestan buffaloes

functions	parameter	Estimated Value	standard error	minimum	maximum
incomplete gamma function	a	6.91	0.209	6.50	7.32
	b	0.057	0.0088	0.039	0.074
	c	0.00083	0.000097	0.00061	0.0010
Wilmlink	a	8.64	0.0696	8.50	8.77
	b	-0.0037	0.00041	-0.0045	-0.0028
	c	-1.37	0.217	-1.80	-0.95
inverse polynomial	a	0.117	0.00097	0.115	0.119
	b	0.041	0.012	0.016	0.066
	c	0.000042	0.00000059	0.000030	0.000053
mixed log	a	6.78	0.25	6.28	7.29
	b	-0.205	0.025	-0.256	-0.15
	c	0.76	0.01	0.54	0.97
Ali and Schaefer	a	16.29	1.50	13.33	19.24
	b	-13.48	1.63	-18.65	-8.32
	c	4.85	0.24	2.40	7.29
	d	-4.21	0.08	-5.49	-2.64
	k	0.52	0.11	0.31	0.744
Dijkstra	a	8.051	0.031	7.98	8.11
	b	0.0025	0.0027	-0.0028	0.0080
	c	0.072	0.023	0.026	0.11
	d	0.0012	0.00040	0.00047	0.0020

Table 5- Fixed effects of season, year and herd on the parameters of Khuzestan buffalo lactation curve

Fix Effect/parameter	a	b	c
season	0.790	0.082	0.821
year	0.0001	0.0001	0.0001
herd	0.0001	0.0001	0.0001

Table 6- Comparing goodness of fit for lactation curves for non-linear models

Function	AIC	MSE	R ²	RMSE
incomplete gamma function**	51585.98	9.2272	0.88055	3.037
Wilmlink	51793.01	9.2380	0.875618	3.039
inverse polynomial	51905.98	9.2581	0.875348	3.042
mixed log	51797.15	9.2445	0.875532	3.040
Ali and Schaefer	51790.39	9.2393	0.875611	3.039
Dijkstra	51803.13	9.2854	0.874990	3.047

و علی- شفر روی منحنی شیردهی گاوهای هلشتاین، برازش کننده بهتری بود (ترشیزی و همکاران، ۲۰۱۱).

همچنین تابع وود در ارزیابی مدل‌های ریاضی گامای ناقص وود، ویلمینک، دایجکسترا، روک، کوبی، گراسمن

در گاوهای هلشتاین ایران را با استفاده از تابع روک به ترتیب ۹۴/۲۷ و ۳۱/۴۷ گزارش کردند. به‌طور کلی دلیل تفاوت در نتایج پژوهش‌های مختلف احتمالاً با تعداد رکوردهای مورد استفاده، نژاد دام، توابع مورد بررسی و ساختار داده‌ها مرتبط باشد.

Table 7- Lactation trait parameters estimated with Wood's incomplete gamma function

Trait	Value
time at peak yield	68.67
peak yield	8.30
Lactation persistency (s)	7.49

مؤلفه‌های واریانس و وراثت‌پذیری برآورد شده برای پارامترهای منحنی شیردهی گاو میش خوزستان با استفاده تجزیه و تحلیل چند صفتی در جدول ۸ ارائه شده است. واریانس ژنتیکی مستقیم پارامترهای تولید در آغاز دوره شیردهی (a)، شیب گامه افزایشی (b) و کاهش (c) منحنی شیردهی به ترتیب ۴۹/۵۱، ۰/۲۰۸ و ۰/۱۰۲ برآورد شد. وراثت‌پذیری پارامترهای a، b و c منحنی شیردهی به ترتیب ۰/۵۷، ۰/۲۷ و ۰/۴۸ بدست آمد. وراثت‌پذیری متوسط این صفات نشان می‌دهد که انتخاب ژنتیکی می‌تواند در جهت بهبود عملکرد دام‌ها نتایج مطلوبی به همراه داشته باشد. این در حالی است که وراثت‌پذیری صفات منحنی شیردهی گاوهای هلشتاین با استفاده از تابع روک در دامنه ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۳ گزارش شد (آرین و همکاران ۲۰۲۰). فریس و همکاران (۱۹۸۵) در مطالعه‌ای مقدار وراثت‌پذیری فراسنجه‌های میزان تولید در آغاز شیردهی، شیب گامه افزایشی منحنی شیردهی و شیب گامه کاهش منحنی شیردهی گاوهای هلشتاین ایالت میشیگان را به ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۹ و ۰/۱۵ گزارش کردند که پایین‌تر از مقادیر برآورد شده پژوهش حاضر بود. در نتیجه بهبود عوامل محیطی تأثیر بیشتری در مقایسه با انتخاب ژنتیکی

در حالی که در سایر مطالعات، نتایج متفاوتی گزارش شد. در پژوهشی تابع چند جمله‌ای با داشتن بیشترین ضریب تبیین (۹۹/۷۸) و کمترین ریشه مجموع مربعات خطا (۰/۰۲ کیلوگرم) از شایستگی بیشتری در برآورد منحنی شیردهی گاو میش مورا برخوردار بود (ساهو و همکاران، ۲۰۱۴). موهانتی و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای، مدل علی و شفر را بر اساس معیارهای ارزیابی R^2 ، RMSE، AIC، AICc و SBC به‌عنوان ابزار برآورد الگوی شیردهی گاوهای شیری آمیخته معرفی کردند. این محققین مقادیر فراسنجه‌های a، b، c، d و e را به ترتیب ۳۴/۳۹۸، ۲۷/۴۹۳، ۱۷/۳۶۱، ۱۹/۶۲۷ و ۱/۹۷۹- برآورد نمودند. نقش عوامل بیولوژیکی، مدیریتی و محیطی در معرفی تابع برتر انکارناپذیر است (ماچیوتا و همکاران، ۲۰۰۶). در مطالعه‌ای بر روی الگوی شیردهی گاو میش‌های ایران، مدل دایجکسترا به دلیل داشتن پایین‌ترین مقادیر MSE و AIC در مقایسه با سایر توابع، برگزیده شد. همچنین مدل وود و دهانو در برآورد زمان اوج تولید شیر دقت بالاتری داشت (قوی حسین زاده ۲۰۱۶). تفاوت توابع ریاضی برتر در مطالعات مختلف احتمالاً می‌تواند به شرایط و فاکتورهای محیطی، مدل‌های مورد بررسی، ساختار اطلاعات، تعداد رکوردها، شرایط پرورش و مدیریت گله‌ها و نژاد و نوع دام بستگی دارد (رووک و همکاران ۱۹۹۳).

بر اساس نتایج جدول ۷ به‌طور متوسط تولید شیر گاو میش‌های خوزستان در روز ۶۹ دوره شیردهی با ۸/۳۰ کیلوگرم به اوج تولید رسید و میانگین تداوم شیردهی ۷/۴۹ برآورد گردید. این یافته‌ها در دامنه مطالعات پیشین منحنی شیردهی گاو میش بود (طاهری دزفولی و همکاران ۲۰۱۸ و ساهین و همکاران ۲۰۱۵). در حالی که در پژوهش چگینی و همکاران (۲۰۱۵) اوج تولید شیر گاوهای هلشتاین ایران دیرتر (روز ۹۱) و بیشتر (۳۴/۴۷) از مقادیر مطالعه حاضر برآورد شد. آرین و همکاران (۲۰۲۰) زمان و میزان اوج تولید شیر

شیردهی و واریانس محیطی می‌تواند دلیل عدم تطابق برآوردهای وراثت‌پذیری در مطالعات مختلف باشد (آرین و همکاران ۱۳۹۹ و فرهنگ فر و همکاران ۲۰۱۸). همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی پارامترهای منحنی شیردهی در جدول ۸ ارائه شده است. همبستگی ژنتیکی بین تولید اولیه (a) و شیب مرحله افزایشی (b) (-۰/۵۱۱) منفی برآورد شد. سایر محققین نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (چگینی و همکاران ۲۰۱۵ و ساهین و همکاران ۲۰۱۵)

جهت افزایش تولید شیر در کوتاه‌مدت دارد. فرهنگ فر و روبینسون (۲۰۰۷) وراثت‌پذیری پارامترهای منحنی شیردهی گاوهای هلشتاین را در دامنه ۰/۰۵ تا ۰/۱۰ گزارش کردند که نشان می‌دهد این صفات به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تحت تأثیر عوامل محیطی هستند (فرهنگ فر و روبینسون ۲۰۰۷). تفاوت مقادیر وراثت‌پذیری در گزارشات مختلف را می‌توان به تعداد رکوردها، ساختار ژنتیکی گله‌های مورد مطالعه، دقت رکوردگیری، مدل و روش آماری تجزیه و تحلیل داده‌ها مرتبط دانست. از سوی دیگر کاربرد توابع مختلف در برآزش الگوی

Table 8- Estimation of heritability (diagonal), genetic (above diagonal) and phenotype correlation coefficients (below diagonal) and components of lactation curve variance

parameter	a	b	c
a	0.57	-0.511	0.044
b	-0.35	0.27	0.138
c	-0.086	0.196	0.48
σ_a^2	49.51	0.208	0.0102
σ_e^2	37.18	0.55	0.0108
σ_p^2	86.70	0.76	0.021

حیوانات دارای بالاترین ارزش اصلاحی پارامترهای ژنتیکی منحنی شیردهی در جدول ۹ آمده است. ارزش‌های اصلاحی به‌دست‌آمده می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی برای حذف یا انتخاب مولدین نسل آینده، کمک فراوانی به حساب آید.

همبستگی منفی بین پارامترهای a و b، نشان می‌دهد که گاوهای با تولید شیر اولیه بالاتر، زمان بیشتری را برای رسیدن به اوج تولید خود نیاز داشته و سطح پایین‌تری از تداوم شیردهی را نشان دادند (ساهین و همکاران ۲۰۱۵)؛ بنابراین انتخاب بر اساس پارامتر (a) برای کاهش شیب گامه افزایشی شیردهی برای ایجاد الگوی شیردهی پایدار می‌تواند مؤثر باشد. همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی مثبت بین b و c (به ترتیب ۰/۱۳۸ و ۰/۱۹۶) نشان می‌دهد که گاوهای با زودتر به اوج تولید می‌رسند پس از اوج، کاهش سریع‌تری خواهند داشت. (چگینی و همکاران ۲۰۱۵ و ساهین و همکاران ۲۰۱۵). در پژوهش دیگری مقدار همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی فراسنجه تولید اولیه شیر و شیب مرحله افزایشی منحنی شیردهی در گاوهای هلشتاین مثبت گزارش شد که با نتایج مطالعه اخیر مغایرت داشت (آرین و همکاران ۲۰۲۰).

Table 9-Animals with the highest breeding value of Khuzestan buffalo lactation curve parameters

a		b		c	
Row	Animal Number	Row	Animal Number	Row	Animal Number
1	3436	1	3438	1	3119
2	3410	2	3409	2	7
3	3360	3	3418	3	3253
4	2868	4	3361	4	3199
5	24	5	3282	5	3219
6	3174	6	3169	6	3163

نتیجه گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که از میان شش مدل ریاضی بررسی شده، تابع گامای ناقص وود دارای اعتبار بیشتری جهت برازش منحنی شیردهی گاو میش خوزستان می باشد. همبستگی ژنتیکی منفی و متوسط بین پارامترهای تولید اولیه (a) و شیب مرحله افزایشی (b) منحنی شیردهی نشان می دهد که دام های با سطح تولید اولیه بالاتر، نرخ افزایش کمتری تا زمان اوج تولید خواهند داشت. در مطالعه حاضر، تجزیه و تحلیل چند صفتی موجب شد ارتباط همه ضرایب منحنی شیردهی باهم در نظر گرفته شود و در نتیجه پارامترهای واقعی تری برای آن ها برآورد گردد. پیشنهاد می شود در مطالعات آتی یک سیستم تولید اقتصادی به کمک رایانه طراحی شود و ضرایب اقتصادی مرتبط با

پارامترهای منحنی شیردهی برای ادغام در شاخص انتخاب برآورد گردد. همچنین جهت اصلاح و بهبود عملکرد گاو میش خوزستان، بررسی ارتباط ژنومیکی ضرایب منحنی تولید شیر پیشنهاد می شود.

سپاس گذاری

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به واسطه حمایت های مالی و معنوی از طرح تحقیقاتی شماره ۱/۴۱۱/۱۵۱۰ و همچنین از مسئولین محترم سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان به دلیل در اختیار قرار دادن داده های خام تحقیق حاضر، کمال تشکر و قدردانی خود را اعلام می دارد.

منابع مورد استفاده

- Ali TE and Schaeffer LR, 1987. Accounting for covariances among test day milk yields in dairy cows. Canadian Journal of Animal Science 67: 637-644.
- Arianfar M, Rokouei M, Dashab GR, Faraji-Arough H, 2018. Comparative evaluation of some mathematical functions in describing the lactation curve of Iranian dairy cattle. Journal of Animal Productions 20:351-363.
- Arianfar M, Rokouei M, Dashab GR, Faraji-Arough H, 2020. Genetic evaluation of lactation curve parameters and the estimation of inbreeding effect on them in Holstein cows. Animal Science, 129:125-140.
- Barbosa SBP, Pereira RGA, Santoro KR, Batista AMV and Neto R, 2007. Lactation curve of cross-bred buffalo under two production systems in the Amazonian region of Brazil. Italian Journal of Animal Science 6: 1075-1078.
- Boostan A, Moradi Shahrabak M, Nejati-Javaremi, A, 2010. A Comparison of Different Functions for the Description of Lactation Curve in Different Periods of Lactation of Holstein Cows using Test Day Records. Iranian Journal of Animal Science 41: 73-80.
- Brody S, Ragsdale AC and Turner CW, 1923. The rate of decline of milk secretion with the advance of the period of lactation. The Journal of General Physiology 5: 441-444.

- Chegini A, Shadparvar AA and Ghavi Hossein-Zadeh N, 2015. Genetic parameter estimates for lactation curve parameters, milk yield, age at first calving, calving interval and somatic cell count in Holstein cows. *Iranian Journal of Applied Animal Science* 5: 61-68.
- Collins-Lusweti E, 1991. Lactation curves of Holstein-Friesian and Jersey cows in Zimbabwe. *South African Journal of Animal Science* 21: 11-15.
- Dijkstra J, France J, Dhanoa MS, Maas JA, Hanigan MD, Rook AJ and Beever DE, 1997. A model to describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. *Journal of Dairy Science* 80: 2340-2354.
- Dongre VB and Gandhi RS, 2013. Prediction of first lactation milk in Sahiwal cattle using statistical models. *Tamil Nadu Veterinary and Animal Sciences* 9: 202-206.
- Farhangfar H, Nezamdoust S, Montazer M, Asgari M, 2018. Genetic analysis of Pollott-Gootwine mechanistic model parameters for lactation curve of Iranian dairy cows. *Journal of Animal Science Research* 28: 17-46.
- Farhangfar H, Rowlinson P, 2007. Genetic analysis of Wood's lactation curve for Iranian Holstein heifers. *Journal of Biological Science* 7:127-135.
- Ferris TA, Mao I L and Anderson CR, 1985. Selecting for lactation curve and milk yield in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 68: 1438-1448.
- Grossman M and Koops WJ, 1988. Multiphasic analysis of lactation curves in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 71: 1598-1608.
- Kazemi F, Hassani S, Samadi F, Ahani Azari M, Saghi D, 2018. Genetic analysis of milk yield by fixed and random regression models in Shirvan Kurdi sheep. *Journal of Animal Science Research* 28: 127-141.
- Macciotta NPP, Dimauro C, Catillo G, Coletta A, and Cappio-Borlino A, 2006. Factors affecting individual lactation curve shape in Italian river buffaloes. *Livestock Science* 104: 33-37.
- Macciotta NPP, Vicario D and Cappio-Borlino A, 2005. Detection of different shapes of lactation curve for milk yield in dairy cattle by empirical mathematical models. *Journal of Dairy Science* 88: 1178-1191.
- Mohanty BS, Verma MR, Sharma VB and Roy PK, 2017. Comparative study of lactation curve models in crossbred dairy cows. *International Journal of Agricultural and Statistical*. 13: 545-551.
- Nelder JA, 1966. Inverse polynomials, a useful group of multi-factor response functions. *Biometrics*, 128-141.
- Rook AJ, France J and Dhanoa MS, 1993. On the mathematical description of lactation curves. *The Journal of Agricultural Science* 121:97-102.
- Sahoo SK, Singh A, Shivahre PR, Singh M, Dash S, and Dash SK, 2014. Prediction of fortnightly test-day milk yields using four different lactation curve models in Indian Murrah Buffalo. *Advances in Animal and Veterinary Sciences* 2:647-651.
- Seahin A, Ulutaş Z, Arda Y, Yüksel, A, and Serdar G, 2015. Lactation curve and persistency of Anatolian buffaloes. *Italian Journal of Animal Science* 14: 149-157.
- Soysal MI, Gurcan EK and Aksel M, 2016. The comparison of lactation curve with different models in Italian originated water buffalo herd raised in Istanbul province of Turkiye. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty* 13:139-144.
- Taheri- Dezfuli B, Babaei M, Kardooni A, 2018. Fitting Milk Curve and its Compounds for Khuzestani Buffaloes using Five Different Functions. *Research on Animal Production* 9:113-123.
- Torshizi ME, Aslamenejad AA, Nassiri MR and Farhangfar H, 2011. Comparison and evaluation of mathematical lactation curve functions of Iranian primiparous Holsteins. *South African Journal of Animal Science* 41: 104-115.
- Val-Arreola D, Kebreab E, Dijkstra J and France J, 2004. Study of the lactation curve in dairy cattle on farms in central Mexico. *Journal of dairy science* 87: 3789-3799.
- Wilmink JBM, 1987. Adjustment of test-day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Livestock Production Science* 16: 335-348.
- Wood PDP, 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216: 164-165.

Multiple-trait genetic analysis of lactation curve parameters in Khuzestani buffaloes

J Fayazi¹, S neysi^{2*} and H Roshanfekar¹

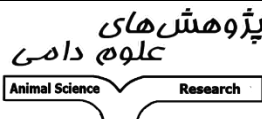

Received: February 16, 2021

Accepted: September 25, 2022

¹Professor, Department of Animal Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

² PhD student, Department of Animal Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

*Corresponding author: E mail: phd.saeid.neysi268@asnruk.ac.ir

 <p>پژوهش‌های علوم دامی Animal Science Research</p>	<p>Journal of Animal Science/vol.33 No.2/ 2023/pp 19-30 https://animalscience.tabrizu.ac.ir</p>	 <p>OPEN ACCESS</p>
<p>© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/) DOI: 10.22034/AS.2022.49088.1640</p>		

Introduction: Improving the performance of economic traits of domestic livestock by means of sounds breeding programs could elaborate meeting the protein demands of the human world population. The water buffalo, also called the domestic water, bears up substantial value in terms of milk and meat production. Khuzestani buffalo, the subspecies of domestic Asian water buffalo (*Bubalus bubalis*) has become a strategic animal species in Khuzestan province, Iran, due to its ability to adapt to adverse environmental conditions, low quality feed sources dependency and high-quality products. Archaeological and ancient records show little evidence regarding the expansion of the Khuzestani buffalo. Many people in the region depend on this species for their livelihoods than on any other domestic animal. In this regard, the buffalo lactation could have crucial role in farmers' economy. In general, having knowledge of lactation curve, may shed some lights on management and farm-based operation of milk production system. The lactation curve is a graphical representation tool that reflects the effect of couple of numbers of different factors on milk production during lactation; therefore, it is useful in making better management decisions. In other words, it could summarize the pattern of milk production, biological and economic efficiency of the animal. Several models have been suggested to describe the lactation curves.

Material and methods: In this study, in order to estimate the association between different fitted lactation curves and their comparisons on Khuzestani buffalo, six nonlinear mathematical models (Wood, Wilmink, inverse polynomial, Complex logarithm, Ali and Schaefer and Dijkstra) were used. Material and methods: The data used in this study, consisted of 103760 test day records of milk yield of 14280 buffalo in the first parity that collected by the Agricultural Jihad Center of Khuzestan province during 1993 to 2020. The Microsoft Excel was used to edit the data. Animals with unknown birth and calving dates were removed. Those fixed effects that had significant effects on the coefficients of lactation curve ($P < 5\%$) were included in the final model. The lactation curve parameters were estimated using the nonlinear regression procedure (NLIN) of SAS software version 9.4 on test day records. Evaluation of goodness of fit was based on the coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE) and Akaike information criterion (AIC). The (Co) variance components were estimated by multi-trait animal model using restricted maximum likelihood method run in WOMBAT software.

Results and discussion: Descriptive statistics of milk production of Khuzestani buffaloes based on 103760 records from different areas shown that the average milk production was 8.048 kg, standard deviation was 3.047 and coefficient of variation was 37.87 as well. Wood's mathematical model provided the best fit of the lactation curve due to the highest value for the R² and lower values for RMSE and AIC compared to the other models and it obtained as 0.88. The a, b and c parameter values of Wood's model were estimated 6.91, 0.057 and 0.00083, respectively. The results showed that the wood model was able to estimate the time of peak milk yield more accurately than the other models. The peak milk yield of Khuzestani buffaloes (8.30 kg/d) appeared on average in the tenth week (day 69) after calving. The heritability of lactation curve traits for initial yield (a), upward slope of the curve (b) and downward slope of the curve (c) were obtained 0.57, 0.27 and 0.48, respectively. In this study, the persistency(s) value for typical lactations were lactation curve were estimated 7.49. The genetic correlations among lactation curve parameters ranged from -0.55 (upward slope of the curve and initial yield) to 0.138 (upward and downward slope of the curve), whereas the phenotypic correlations ranged from -0.35 (Between initial yield and the upward slope of the curve) to +0.196 (b and c). The solutions of mixed model equations revealed that Buffalo with IDs 3436, 3410, 3360, 2868, 24, and 3174 had the highest breeding value for coefficient a. In other hand, buffalo 3438, 3409, 3418, 3361, 3282, and 3169 showed the highest breeding value in the coefficient b. Finally, the buffaloes that obtained the highest hereditary value in different coefficients of lactation curve were introduced as the superior buffaloes. By knowing the best buffaloes in terms of breeding value for parameters a and b, it is possible to select buffaloes to be parent for next generation. In general, evaluating lactation curve equations using nonlinear models and multi-trait analysis is an effective step in identifying buffaloes with high genetic potential to improve and increase milk production efficiency. The results of the present study showed that among the six mathematical models studied, Wood's incomplete gamma function had more viability for fitting the lactation curve of Khuzestani buffalo. The effect of calving season was not significant on lactation parameters while year of calving had a significant effect. Negative and moderate genetic correlations between initial production parameters (a) and upward slope (b) of the lactation curve indicate that keeping on with higher initial production level will have a lower rate of increase until peak production. In the present study, multivariate analysis led to the relationship of all coefficients of the lactation curve with each other and as a result more realistic parameters were estimated for them. It is suggested that in future studies, a computer-aided economic production system be designed and the economic coefficients related to the parameters of the lactation curve be estimated for integration into the selection index. Also, in order to improve the performance of Khuzestani buffalo, it is recommended to study the genomic relationship of milk production curve parameters.

Keywords: Khuzestan buffalo, Lactation curve, Mathematical models, Heritability