

DOI: 10.22034/AS.2021.46574.1620

برآورد بیزین فراسنجه‌های منحنی شیردهی در گاوهای شیری ایران

کیوان رجبعلی‌زاده^۱، صادق علیجانی^{۲*}، ابوالفضل قربانی^۳ و طرلان فرهوش^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۸

^۱ گروه علوم دامی، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران

^۲ دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

^۳ استادیار، گروه علوم دامی، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران

* مسئول مکاتبه: Email: sad-ali@tabrizu.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: برای توصیف تولید شیر در یک دوره‌ی شیردهی در گاوهای شیری، مدل‌های ریاضی مختلفی توسعه یافته‌اند. برآورد پارامترهای این مدل‌ها در مورد گاوهای شیری ایران، با استفاده از روش بیزین انجام نشده است. **هدف:** تحقیق حاضر، برآورد بیزین پارامترهای مدل‌های ریاضی وود، میلک بات، گمپرتز، دایجکسترا، کوبی-لیدو، ون برتالانفی، برودی و لاجستیک برای منحنی شیردهی بود. **روش کار:** تعداد ۳۰۶۱۸، ۳۰۶۸۵ و ۳۰۶۲۷ رکورد روز آزمون به ترتیب برای تولید شیر، درصد چربی و درصد پروتئین مورد استفاده قرار گرفت. این رکوردها مربوط به روزهای ۵ تا ۳۰۵ روز دوره‌ی اول شیردهی گاوهای هلشتاین ایران با ۳۶۸۵ گاو از ۳۵۰ گله بود. در ابتدا داده‌ها برای اثرات ثابت معنی‌دار HTD و سن زایش گوساله تصحیح شدند. پارامترهای منحنی‌های شیردهی با استفاده از رکوردهای روز آزمون گاوها در رویه MCMC نرم‌افزار SAS و با به کار بردن یک مدل غیرخطی مختلط با روش بیزین برآورد گردیدند. برای در نظر گرفتن منحنی شیردهی انفرادی هرکدام از گاوها، اثر هر گاو به عنوان اثر تصادفی در تمامی مدل‌های غیرخطی مورد استفاده قرار گرفت. برای نمونه‌گیری از توزیع پسین پارامترها، از الگوریتم نمونه‌گیری زنجیره‌ی مارکوف مونت‌کارلو، با در نظر گرفتن دوره‌ی قلق‌گیری، فاصله‌ی نمونه‌گیری و تعداد کل سیکل به ترتیب ۱۰۰، ۱۵۰۰۰۰ و ۴۰۰۰۰۰ سیکل برای هرکدام، به دست آمد. برای بررسی مقادیر نمونه‌گیری شده و محاسبه شاخص همگرایی، از اندازه‌ی مؤثر نمونه و آزمون تشخیص جوک استفاده گردید. مدل‌ها، توسط معیار انحراف اطلاعات (DIC) باهم مقایسه شدند. **نتایج:** با بررسی آماره توابع و شاخص‌های همگرایی، تابع برودی برای تولید شیر و تابع وود برای درصد چربی و درصد پروتئین مناسب‌ترین مدل و برازش بهتری را نشان دادند. در نتایج به دست آمده، پارامترهای برآورد شده از تابع برودی برای تولید شیر به ترتیب ۳۷/۲۱۹، ۰/۵۴۴ و ۰/۰۸۴ برای a، b و c بود. برای درصد چربی شیر و درصد پروتئین شیر پارامترهای برآورد شده از تابع وود به ترتیب ۴/۲۹ و ۳/۵۳ برای a، ۰/۰۸- و ۰/۰۴- برای b و ۰/۰۰۸- و ۰/۰۰۰۴- برای c بود. **نتیجه‌گیری نهایی:** نتایج تحقیق حاضر، نشان داد که توابع برودی و وود به ترتیب، به عنوان بهترین مدل در پیش‌بینی تولید شیر و صفات تولیدی در گاوهای هلشتاین ایران در دوره‌ی اول شیردهی می‌باشند.

واژگان کلیدی: تشخیص همگرایی، گاوهای هلشتاین، منحنی شیردهی، برآورد بیزین، زنجیره مارکوف مونت‌کارلو

مقدمه

نمایش نموداری ترشح شیر در یک دوره‌ی شیردهی به‌عنوان منحنی شیردهی شناخته می‌شود (شرچلند و همکاران ۱۹۹۵). آگاهی از مشخصات منحنی شیردهی می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های اصلاحی و مدیریتی، ارزیابی ژنتیکی گاوهای شیری و پیش‌بینی میزان کل تولید شیر به کارشناسان کمک کند (دانجر و همکاران ۲۰۱۲). برای بیان و توصیف وضعیت تولید شیر در یک دوره شیردهی در گاوهای شیری مدل‌های ریاضی مختلفی توسعه‌یافته است (ویلمینک ۱۹۸۷ و وود ۱۹۶۷). مطالعات زیادی اخیراً در رابطه با کاربرد منحنی‌های شیردهی در مدل‌سازی تولید روزانه شیر^۱ با موفقیت در گاوهای هلشتاین ایرانی صورت گرفته است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این زمینه و مطالعه بر روی گاوهای شیری هلشتاین نشان داد که تابع ساده سینوسی شایستگی بالایی برای برازش رکوردهای روزانه تولید شیر گاوها و تعیین تداوم شیردهی داشت. پارامترهای این تابع توجیه بیولوژیکی بیشتری نسبت به دیگر مدل‌ها داشتند (لطفی و همکاران ۲۰۱۴).

در مقایسه با بعضی از توابع غیرخطی (وود، دانوا، ویلمینک، علی - شيفر، کاپوبورلینو، کوبی - لیدو، دایجکسترا، رووک، گوس - نلدر) برای توصیف منحنی‌های شیردهی گاوهای هلشتاین ایرانی، تابع رووک بهترین برازش را برای منحنی تولید شیر در سه دوره‌ی شیردهی اول^۲ در مقایسه با سایر توابع نشان داد (آرین فر و همکاران ۲۰۱۸).

مطلوب‌ترین مدل‌ها برای درصد چربی، درصد پروتئین و مقدار کل پروتئین و چربی شیر به ترتیب توابع پارابولیک^۳، چندجمله‌ای معکوس^۳ و وود بود (اللهی ترشیزی و همکاران ۲۰۱۱). در تمام این تحقیقات روش‌های آماری کلاسیک برای برآورد پارامتر و

استنباط آماری استفاده‌شده است. توسعه و پیشرفت روش‌های آماری در چند دهه‌ی گذشته به‌عنوان یک موضوع ثابت در اکثر مطالعات اصلاح نژادی مدنظر بوده و در این ارتباط روش بیزین مبتنی بر روش نمونه‌گیری گیبس^۴ به‌عنوان روشی نوین و قدرتمند از نظر تجزیه و تحلیل مدل‌های پیچیده و با تعداد زیاد رکورد، امروزه در سراسر دنیا و در اکثر رشته‌های علوم مورد توجه قرار گرفته است (جنسن و همکاران ۱۹۹۴؛ وانگ و همکاران ۱۹۹۴ و ون تسل ۱۹۹۶). قبل از استفاده از الگوریتم نمونه‌گیری گیبس سه پارامتر در کاربرد آن در نظر گرفته می‌شود. اولین پارامتر، تعداد کل سیکل‌های نمونه‌گیری برای برآورد قابل‌اطمینان؛ دومین پارامتر، تعداد نمونه‌هایی که باید قبل از مقادیر نمونه‌های تولیدشده در توزیع پسین حقیقی حذف گردند چراکه این مقادیر درست نمی‌باشند و پارامتر سوم برای به دست آوردن نمونه‌های مستقل از توزیع پسین، فاصله بین مقادیر نمونه‌گیری شده می‌باشد (علیجانی و همکاران ۲۰۱۲). در روش بیزین، پارامترهای مدل به‌عنوان متغیرهای تصادفی در نظر گرفته‌شده و استنباط بر اساس توزیع‌های پسین آن‌ها (در بعضی موارد بدون در نظر گرفتن توزیع نرمال برای داده‌های مورد مطالعه) صورت گرفته و نیاز به داده‌های زیاد می‌باشد (اقبال و همکاران ۲۰۱۹). هدف از این مطالعه، کاربرد روش آماری بیزین برای برآورد و مقایسه پارامترهای مدل‌های ریاضی مختلف تجربی (وود، میلک بات، گمپرتز، دایجکسترا، کوبی - لیدو، ون برتالانفی، برودی و لاجستیک) با برازش این توابع بر روی رکوردهای روز آزمون^۵ صفات تولید شیر گاوهای هلشتاین ایران در دوره‌ی شیردهی اول^۱ بود.

^۱ Days in milk (DIM)^۲ Parabolic^۳ Inverse polynomial^۴ Gibbs sampling^۵ Test day

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به ترتیب از تعداد ۳۰۶۱۸، ۳۰۶۸۵ و ۳۰۶۲۷ رکورد روز آزمون تولید شیر، درصد چربی و درصد پروتئین مربوط به دوره شیردهی اول متعلق به ۳۶۸۵ رأس گاو هلشتاین از ۳۵۰ گله که در سال ۱۳۹۴ توسط مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات دامی کشور جمع‌آوری شده بود استفاده گردید. اطلاعات شیردهی به صورت سه نوبت شیردوشی در روز ثبت شده بودند. در مرحله‌ی اول بر اساس اصول زیر رکوردها ویرایش شدند: (۱) روزهای شیردهی بین ۵ تا ۳۰۵ روز (۲) تعداد رکوردهای روز آزمون برای هر گاو حداقل ۵ رکورد (۳) سن گوساله‌زایی بین ۲۱ تا ۴۸ ماه و (۴) تولید شیر بین ۲ تا ۵۷ کیلوگرم، درصد چربی و درصد پروتئین روزانه بین ۱ تا ۶ درصد (اللهی ترشیزی و همکاران ۲۰۱۱).

جدول ۱ شامل آماره‌های توصیفی رکوردهای تولیدی روز آزمون ویرایش شده در دوره‌ی شیردهی اول گاوهای هلشتاین ایرانی است. بالاترین مقدار ضریب تغییرات (C.V.%) در صفت درصد چربی شیر (۲۵/۱۴٪) و پایین‌ترین مقدار آن در صفت تولید شیر (۷/۹۰٪) مشاهده شد. به دلیل در نظر گرفتن تمام‌روزهای شیردهی (DIM) با همدیگر مقدار ضریب تغییرات محاسبه شده بیشتر برآورد شد. برای رکوردهای روز آزمون تولید شیر، ارزیابی نقاط پرت انجام گرفت. ۹۹/۷۳ درصد مشاهدات مربوط به داده‌ها، در محدوده‌ی سه انحراف معیار از میانگین صفت مربوطه قرار داشتند. رکوردهای خارج از این محدوده به‌عنوان داده‌های پرت در نظر گرفته شدند (جونپور و همکاران ۲۰۱۸).

Table 1- Descriptive statistics for test-day production records in the first lactation of Iranian Holstein cows

DIM	Milk Yield (Kg)					
	Mean(S.E.)	S.D.	C.V. (%)	Median	Min.	Max.
20	32.79(0.70)	6.83	20.84	32.0	18.0	56.1
70	39.32(0.70)	3.46	8.800	39.3	27.6	49.0
150	38.66(0.30)	3.05	7.900	38.6	31.3	47.3
250	34.88(0.70)	7.37	21.14	34.8	20.8	56.4
305	32.26(1.01)	7.08	21.96	33.4	16.8	49.6
DIM	Milk fat (%)					
	Mean(S.E.)	S.D.	C.V. (%)	Median	Min.	Max.
20	3.350(0.03)	0.31	9.390	3.35	2.31	4.38
70	3.170(0.06)	0.73	23.05	3.20	1.47	5.28
150	3.100(0.07)	0.74	24.05	3.17	1.15	4.77
250	3.320(0.07)	0.70	21.30	3.29	1.54	5.33
305	3.290(0.11)	0.82	25.14	3.31	1.57	4.97
DIM	Milk protein (%)					
	Mean(S.E.)	S.D.	C.V. (%)	Median	Min.	Max.
20	3.160(0.03)	0.33	10.64	3.13	2.40	4.03
70	3.090(0.02)	0.28	9.350	3.12	2.45	4.00
150	3.150(0.02)	0.28	9.110	3.15	2.46	3.89
250	3.150(0.02)	0.26	8.310	3.18	2.46	3.71
305	3.200(0.04)	0.32	10.11	3.21	2.68	4.03

S.E.: standard error; S.D.: standard deviation; C.V.: coefficient of variation; Max.: maximum; Min.: minimum.

y_{ij} = مشاهدات مربوط به تولید شیر یا صفات تولیدی

دیگر i امین حیوان در j امین روز آزمون یا زمان

n = تعداد کل حیوانات

t_j = زمانی که j امین مشاهده ثبت شده

ε_{ij} = خطای باقیمانده دارای توزیع نرمال با میانگین صفر

در مدل بالا $f_k(\cdot)$ یکی از هشت توابع مختلف منحنی‌های

شیردهی وود، میلک بات، گمپرتز، دایجکسترا، کوبی-

مدل‌های غیرخطی استفاده شده برای توصیف منحنی

شیردهی تولید شیر و صفات تولیدی در جدول ۲ آورده

شده است. نماد ریاضی کلی توابع به صورت زیر در نظر

گرفته شد:

$$y_{ij} = f_k(t_j, \beta_k) + \varepsilon_{ij}$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, 8$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

یک توزیع گاما با پارامترهای مناسب می‌باشند، استفاده شد.

$\sigma \sim \text{igamma}(0.001, \text{scale} = 10000)$
 $u \sim \text{igamma}(0.001, \text{scale} = 10000)$

این توزیع‌های پیشین یک سری توزیع‌های گامای معکوس با پارامتر شکل 0.001 و مقیاس 10000 می‌باشند.

برای تولید نمونه‌های مستقل از توزیع پسین پارامترها از روش نمونه‌گیری گیبس که حالات خاصی از زنجیره مارکوف مونت‌کارلو^۳ (MCMC) است، استفاده شد. آنالیز نمونه‌گیری گیبس با در نظر گرفتن دوره‌های قلق‌گیری، فاصله‌های نمونه‌ای و سیکل‌های مختلف در نهایت به ترتیب با 150000 و 100 تکرار و تعداد کل سیکل 40000 و اندازه نمونه 4000 انجام گرفت. با استفاده از نرم‌افزار SAS خلاصه‌سازی، رسم نمودار خروجی از شبیه‌سازی MCMC و آزمون‌های تشخیص همگرایی زنجیره MCMC انجام گرفت. در ادامه، توابع غیرخطی مختلف با استفاده از شاخص نکویی برازش معیار انحراف اطلاعات^۴ (DIC) باهم مقایسه شدند. معیار DIC معیاری بیزین برای مقایسه مدل‌هاست که مدل با کمترین DIC به عنوان بهترین مدل برای برازش در نظر گرفته شد. برای تشخیص همگرایی از آزمون جوک (جوک ۱۹۹۲) و اندازه مؤثر نمونه^۵ استفاده شد. برای تعیین معنی‌دار بودن تفاوت دو مدل، اگر بین دو مدل غیر موردنظر، تفاوت شاخص DIC کمتر از 10 بود غیر معنی‌دار و اگر 10 یا بیشتر از آن بود معنی‌دار در نظر گرفته شد (اقبال و همکاران، ۲۰۱۹).

لیدو، ون برتالانفی، برودی و لاجستیک با $k = 1, 2, \dots, 8$ و بردار پارامترهای نامعلوم برای تابع منحنی مربوطه می‌باشد. در این تحقیق معنی‌دار بودن اثرات شناخته‌شده مؤثر بر صفات مورد آنالیز توسط رویه GLM نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ در سطح معنی‌دار 0.05 بررسی شد و در نهایت اثرات ثابت شامل سن گوساله‌زایی و گله-تاریخ-آزمون معنی‌دار به دست آمد.

استنباط بیزین برای برآورد توزیع پسین توأم^۱ پارامترهای مجهول هر مدل منحنی شیردهی، با در نظر گرفتن یک مدل غیرخطی مختلط که به منظور در نظر گرفتن منحنی شیردهی انفرادی هر گاو، اثر تصادفی گاو به آن اضافه شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. برای این کار از رویه MCMC نرم‌افزار SAS (۲۰۱۲) نسخه ۹/۳ استفاده گردید (جاناتان و همکاران ۲۰۱۷).

اما همان‌طور که در استنباط بیزین، برای هر پارامتر ناشناخته و مجهول یک توزیع پیشین نیاز است، برای هر کدام از پارامترهای توابع به‌کاررفته نیز توزیع پیشین مناسب، تعریف گردید. به‌عنوان مثال، در تابع وود برای سه پارامتر این تابع غیرخطی، توزیع پیشین پارامترهای a ، b و c به‌صورت زیر تعریف شد:

$a \sim \text{normal}(0, \text{prec} = 0.000001)$
 $b \sim \text{normal}(0, \text{prec} = 0.000001)$
 $c \sim \text{normal}(0, \text{prec} = 0.000001)$

توزیع‌های پیشین بکار رفته یک سری توزیع‌های نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار بسیار بزرگ به مقدار یک میلیون، که نشان‌دهنده یک توزیع پیشین ناآگاهی بخش^۲ هستند (در اینجا با توجه به دستورالعمل نرم‌افزار مربوطه میزان صحت^۳ که معکوس انحراف معیار است آورده شده است) می‌باشند. درحالی‌که برای جذر واریانس خطا در هر DIM با توجه به نامنفی بودن آن و جذر واریانس اثر تصادفی گاوها از توزیع‌های زیر که

³ Markov Chain Monte Carlo

⁴ Deviance information criteria

⁵ Effective sample size

¹ Joint posterior distribution

² Noninformative

Table 2- Non-Linear models and their equations used to describe the lactation curve

Models	Equations	Models	Equations
Wood	$y = at^b \exp^{-ct}$	Dijkstra	$y = a \exp[b(1 - \exp^{-ct})/c - dt]$
Brody	$y = a(1 - (\exp^{-ct}))$	Cobby and Le Du	$y = a(1 - \exp^{-ct}) - bt$
Milkbot	$y = a[1 - (\exp^{(c-b)/b} / 2)] \exp^{-dt}$	Von Bertalanffy	$y = a(1 - \exp^{-ct})^3$
Gompertz	$y = ab \exp[b(1 - \exp^{-ct})/c - ct]$	Logistic	$y = a / (1 + \exp^{-ct})$

y stands for milk yield or other production traits, t stands for time of lactation, a, b, c and d are parameters that define the scale and shape of the curve in the model.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به همگرایی و اندازه‌ی نمونه‌ی مؤثر برای پارامترهای توابع برودی و وود در جدول ۳ خلاصه شده است. آماره آزمون جوک نشان‌دهنده وجود همگرایی در زنجیره مارکوف بود ($P > 0.05$). اندازه مؤثر نمونه و اندازه نمونه شبیه‌سازی شده (۴۰۰۰) هم نشان‌دهنده وجود همگرایی در پارامترهای a، b و c مدل‌های وود و برودی بود. در منحنی برازش درصد پروتئین، مدل وود با وجود معنی‌دار بودن پارامتر a در آزمون جوک ردیابی^۱ مناسب (همگرایی)، انتخاب شد (شکل ۱). برآوردهای مربوط به میانگین همراه با انحراف معیار، خطای معیار، خطای معیار مونت کارلو (MCSE) و فاصله‌های باورمند^۲ ۹۵ درصد بی‌زین (برآورد فاصله‌ای) برای هر پارامتر از مدل‌های شیردهی در جدول ۴ آورده شده است. خطای معیار برآورد شده نشان داد، مقادیر نمونه‌گیری شده مستقل بوده و برآوردهای خطای معیار مونت کارلو نشان از خطای معیار مجانبی است (جوک ۱۹۹۲).

در تمام توابع، برآورد تولید در ابتدای شیردهی به وسیله پارامتر a نشان داده شده است. مقادیر برآورد شده برای تولید شیر ۲۷/۲۱۹ از مدل برودی و ۴/۲۹۳ و ۳/۵۳۲ از مدل وود به ترتیب برای درصد چربی و درصد پروتئین بود. مقدار پارامتر b (شیب افزایش نمودار تا اوج تولید) برای تولید شیر ۰/۵۴۴ از مدل برودی و برای مدل وود مقادیر ۰/۰۸۶- و ۰/۰۴- به ترتیب برای درصد چربی و

درصد پروتئین برآورد شد. مقادیر شیب کاهش نمودار بعد از اوج تولید در تمام نمودارها توسط پارامتر c برآورد شد. این مقادیر برای مدل برودی ۰/۰۸۴- و برای مدل وود ۰/۰۰۸- و ۰/۰۰۰۴- به ترتیب برای صفات تولید شیر، درصد چربی و درصد پروتئین به دست آمد. مقادیر DIC برای تولید شیر، درصد چربی و درصد پروتئین شیر با روش بی‌زین برای هر تابع منحنی شیردهی برازش شد که در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان داد که مدل برودی برای منحنی تولید شیر و مدل وود برای منحنی‌های درصد چربی و درصد پروتئین شیر نسبت به دیگر مدل‌های غیرخطی انتخابی، برازش بهتری داشتند. مقادیر برآورد شده DIC توابع برودی و وود به ترتیب ۷۶۸۱۴/۱۹۲۳۶۰،۹/۲ و ۵۹۲۸۴/۱ بودند. تفاوت مقادیر DIC برآورد شده بین مدل‌ها در منحنی برازش چربی شیر برای تابع وود بیش از ۱۰ واحد بود که نشان از خیلی معنی‌دار بودن این تابع از بقیه توابع دارای همگرایی می‌باشد. با بررسی آماره توابع و شاخص‌های همگرایی از بین توابع، وود توصیف بهتری از منحنی‌های درصد چربی و درصد پروتئین شیر و برودی از منحنی تولید شیر در دوره‌ی اول شیردهی داشت.

¹ Trace plot

² Credible interval

Table 3- Different diagnostic criteria for each parameter in the Brody and Wood functions

		Parameter a			Parameter b			Parameter c		
		Geweke		Ess	Geweke		Ess	Geweke		Ess
		Statistic	p-value		Statistic	p-value		Statistic	p-value	
Brody	Milk yield (kg)	0.861	0.389	2564	-0.229	0.818	3792	-0.359	0.719	3867
Wood	Milk fat (%)	0.848	0.396	1336	0.113	0.910	3600	0.508	0.611	3580
	Milk protein (%)	3.040	0.002	431.3	-1.037	0.299	3767	-0.878	0.379	3911

ESS: effective sample size.

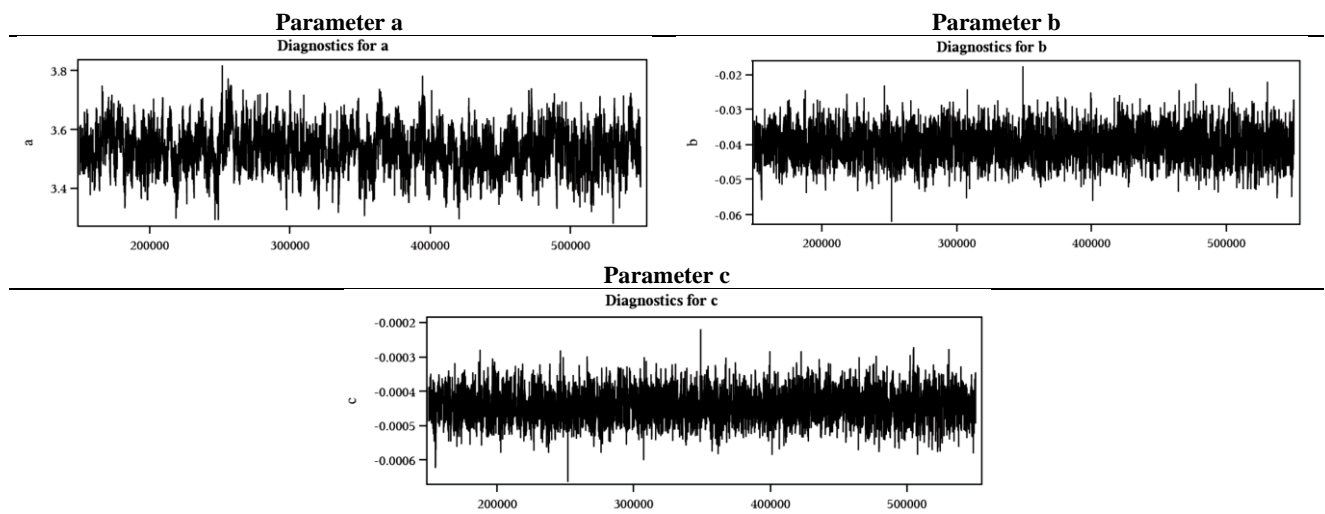


Figure 1-The traces plots of Wood lactation curve's parameters in milk protein (%)

Table 4- Posterior summary statistics of parameters of the lactation curves function for milk yield and production traits

		Milk yield (kg)				
Model	Parameters	Mean	S.D.	MCSE	95% credible intervals	
				2.5%		97.5%
Brody	a	37.219	0.0802	0.0015	37.063	37.376
	b	0.544	0.0159	0.0002	0.5135	0.5764
	c	0.084	0.0022	0.0000	0.0802	0.0891
		Milk fat (%)				
Wood	a	4.293	0.0896	0.0024	4.1209	4.4732
	b	- 0.086	0.0055	0.0000	- 0.097	- 0.075
	c	-0.0008	0.0000	0.0000	-0.0009	-0.0007
		Milk protein (%)				
Wood	a	3.532	0.0753	0.0036	3.3828	3.6801
	b	- 0.04	0.0050	0.0000	- 0.049	-0.0299
	c	-0.0004	0.0000	0.0000	0.000	-0.0005

a, b and c: parameters that define the scale and shape of the curve in the model; S.D.: standard deviation; MCSE: Monte Carlo standard error.

Table 5- Comparison of various lactation curves function for milk yield and fat and protein percentage

Model	Dic	Comparison	Difference
Milk yield (Kg)			
Brody	192360.2	-	-
Milk fat (%)			
Wood	76814.9	--	--
Von Bertalanffy	77035.07	Wood - Von Bertalanffy	220.17*
Logistic	77252.59	Wood - Logistic	437.69*
Milk protein (%)			
Wood	59284.1	-	-

*: Significant; DIC: Deviance Information Criteria

گرفت مدل وود تقریباً در همه شرایط بهترین برازش را نشان داد و به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای توصیف، حداقل به‌عنوان مدل تجربی منحنی‌های شیردهی گاوهای هلشتاین پرورش‌یافته در نظر گرفته شد. در مطالعه‌ای توسط کونگ و همکاران (۲۰۱۸) روی گاوهای شیری هلشتاین چین بهترین تابع برای پیش‌بینی تولید شیر ۳۰۵ روزه، پرورش، مدیریت و ارزیابی ژنتیکی گاوهای شیری از بین توابع گینس، سیکا، نلدر، وود، دانوا و هایشی منحنی‌های ایجادشده توسط وود، دانوا و نلدر بود. در پژوهشی دیگر پیکاردی و همکاران (۲۰۱۷) جهت مقایسه سه مدل وود، میلک‌بات و دی‌فازیک برای برازش شکل منحنی‌های شیردهی تولید شیر بر روی گاوهای شیری آرژانتین شکم اول و سوم، مدل وود به‌عنوان بهترین مدل جهت برازش داده‌های تولید شیر معرفی گردید. در مطالعه‌ای دیگر منحنی وود نسبت به تابع گمپرتز در برازش داده‌ها عالی بود به همین خاطر برای تفسیر زیستی مورد استفاده قرار گرفت (هانسن و همکاران ۲۰۱۲). در پژوهشی دیگر توسط بنگار و ورما (۲۰۱۷) جهت مقایسه چهار مدل غیرخطی وود، مدل درجه دوم، مدل لگاریتمی آمیخته و ویلمینک برای برازش شکل منحنی‌های شیردهی تولید شیر و ترکیبات آن در گاوهای هیبرید گیر^۲ در هندوستان، مدل وود به‌عنوان بهترین مدل جهت برازش داده‌های تولید شیر و صفات تولیدی معرفی گردید. تی‌ژیرا و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای بر روی مدل‌های برودی، سیکا، نلدر، وود،

به نظر می‌رسد به خاطر کم بودن مقالات مربوط به مدل‌سازی تولید شیر، درصد چربی و پروتئین شیر با داده‌های مربوط به تولید شیر روزانه با استفاده از روش بیزین، مطالعه‌ای مقایسه‌ای مشکل باشد. با وجود این، مدل وود به‌عنوان بهترین مدل غیرخطی برای توصیف ارتباط بین تولید شیر و DIM در گاوهای هلشتاین با استفاده از روش‌های معمولی برآورد پارامترها شناخته شده است (اورمان و ارتوگرول ۱۹۹۹). الهی ترشیزی و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند به خاطر پارامترهای تابع و محدودیت محاسباتی کمتر، تابع وود بهترین مدل برای پیش‌بینی تولید شیر روزانه است. بوجنان (۲۰۱۳) گزارش کرد که مدل‌های وود، ویلمینک، گو - سوالو، علی - شیفرسطح قابل قبولی از دقت در توصیف شکل منحنی شیردهی برای گاوهای شیری هلشتاین در مراکش داشته اما مدل وود نسبت به بقیه مطلوب‌تر بود. منحنی شیردهی مشاهدات با منحنی برازش شده با تابع گاما تقریباً یکسان بود. با وجود این، تابع گاما مقدار تولید در اوج تولید را کم نشان داده و بنابراین توصیه شد که این تابع برای برازش گاوهای با تولید کم مورد استفاده قرار گیرد (دانجروهمکاران ۲۰۱۲). برای ۳۰ روز اول شیردهی تابع گامای تغییر یافته بهترین برازش را برای شکم اول نشان داد (شرچلند و همکاران ۱۹۹۵). در مطالعه‌ای روی گاوهای هلشتاین در برزیل توسط فریرا و همکاران (۲۰۱۵) که بر روی چهار مدل منحنی شیردهی وود، دایجکسترا، برودی و پالات^۱ صورت

²Gir¹Pollott

مدل‌سازی توابع پیچیده غیرخطی به‌خصوص با تعداد داده‌های کم نسبت به روش کلاسیک آماری دارای برتری است. به‌طورکلی، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تابع وود با برازش مناسب‌تر نسبت به سایر توابع به‌عنوان بهترین تابع برای پیش‌بینی منحنی‌های درصد چربی و درصد پروتئین شیر و تابع برودی در برازش منحنی تولید شیر در گاوهای هلشتاین ایران در دوره‌ی اول شیردهی مناسب بودند.

کوبی - لیدو، دانوا، پاپاشیک-بودرو، رووک و کاپیو-بورلینو برای انتخاب برازش مناسب منحنی تولید شیر بر روی گاوهای گیرولندو برزیل مدل وود را به‌عنوان مدل مناسب معرفی کردند. تجزیه و تحلیل بیزین می‌تواند پارامترها را در مدل‌های غیرخطی با استفاده از تمام داده‌های قابل‌دسترس و تمام منابع برآورد کند. نتیجه‌گیری بر اساس توزیع‌های حاشیه‌ای پیشین پارامترها و حاشیه‌سازی از طریق نمونه‌گیری گیبس انجام می‌شود (ریکایا و همکاران ۲۰۰۰). روش بیزین در

منابع مورد استفاده:

- Alijani S, Jasouri M, Pirany N and Kia HD, 2012. Estimation of variance components for some production traits of Iranian Holstein dairy cattle using Bayesian and AI-REML methods. *Pakistan Veterinary Journal* 32: 562-566.
- Arianfar M, Rokouei M, Dashab GR and Faraji-Arough H, 2018. Comparison and evaluation of some mathematical functions in describing the lactation curve of Iranian dairy cattle. *Animal Production* 20:351-363 (In Persian).
- Bangar YC and Verma MR, 2017. Non-linear modeling to describe lactation curve in Gir crossbred cows. *Journal of Animal Science and Technology* 59: 1-7.
- Boujenane I, 2013. Comparison of different lactation curve models to describe lactation curve Holstein - Friesian dairy cows. *Iranian Journal of Applied Animal Science* 3: 817-822.
- Donger V, Gandhi RS and Singh A, 2012. Comparison of different lactation curve models in Sahiwal cows. *Turkish Journal of Veterinary Animal Science* 36: 723-726.
- Elahi 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.
- Ferreira AGT, Henrique DS, Vieira RAM, Maeda EM and Valotto AA, 2015. Fitting mathematical models to lactation curves from holstein cows in the southwestern region of the state of Parana, Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 87: 503-517.
- Geweke J, 1992. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments. In: JM Bernardo, JO Berger, AP Dawid and AFM Smith (editors). *Bayesian Statistics 4th ed.* Clarendon Press, UK, Pp. 169-193.
- Hansen AV, Strathe AB, Kebreab E, France J and Theil P, 2012. Predicting milk yield and composition in lactating sows: A Bayesian approach. *Journal of Animal Science* 90: 2285-2298.
- Iqbal F, Tariq MM, Eydurán E, Zil-e-Huma, Waheed A, Abbas F, Ali M, Rashid N, Rafeeg M and Mustafa Z, 2019. Fitting nonlinear growth models on weight in Mengali sheep through Bayesian inference. *Pakistan Journal of Zoology* 51: 459-466.
- Jensen J, Wang CS, Sorensen DA and Gianola D, 1994. Bayesian inference on variance and covariance components for traits influenced by maternal and direct genetic effects, using the Gibbs sampler. *Journal of Acta Agricultura Escandinavica* 44: 193-202
- Jonathan FR, Thomas RF, Thomas MG, 2017. Application of a Bayesian ordinal animal model for the estimation of breeding values for the resistance to *Monilinia fruticola* (G. Winter) Honey in progenies of peach [*Prunus persica* (L.) Batsch]. *Breeding Science* 67: 110-122

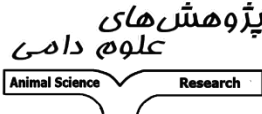

- Junior JA, Gonçalves T, Souza Jd, Rodriguez MA, Costa C and Carvalheira JGV, 2018. Adjustment of lactation curves of Holstein cows from herds of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Agricultural Science* 10:1-14.
- Kong L, Lia J, Lia R, Zhaoc X, Mad Y, Sunb S, Huangaj, Juc Z, Houa M and Zhonga J, 2018. Estimation of 305-day milk yield from test-day records of Chinese Holstein cattle. *Journal of Applied Animal Research* 46:791-797.
- Lotfi S, Lotfi R, Vahidian Kamyad Aand Farhangfar H, 2014. Modeling the lactation curve of Holstein dairy cows using the Sine function and comparing it with Dijkstra and Wood's functions in a herd of Holstein dairy cow. *Iranian Journal of Animal Science* 45:59-68.
- Orman MN and Ertuğrul O, 1999. Investigation of three different lactation models in milk yields of holstein cows. *Turkish Journal of Veterinary Animal Science* 23: 605-614.
- Piccardi M, Macchiavelli R, Funes AC, Bó GA and Balzarín M, 2017. Fitting milk production curves through nonlinear mixed models. *Journal of Dairy Research* 84:1-8.
- Rekaya P, Carabaño MJ and Toro MA, 2000. Bayesian analysis of lactation curves of Holstein-Friesian cattle using a nonlinear model. *Journal of Dairy Science* 83: 2691-2701.
- SAS Institute 2018. SAS/STAT software for windows 9.3. Cary, NC: SAS institute inc.
- Sherchland L, Mcnew RW, Kellogg DW and Johnson ZB, 1995. Selection of a mathematical model to generate lactation curves using daily milk yields of Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 78: 2507-2513.
- Teixeira FRF, Nascimento M, Cecon PR, Cruz CD, Silva FF, Nascimento ACC, Azevedo CF, Marques DBD, da Silva MVGB, Carneiro APS and Paixão DM, 2021. Genomic prediction of lactation curves of Girolando cattle based on nonlinear mixed models. *Genetics and Molecular Research* 20: 1-16.
- Van Tassell CP and Van Vleck LD, 1996. Multiple-trait Gibbs sampler for animal model: flexible program for Bayesian and likelihood based (co)component inference. *Journal of Animal Science* 74: 2597-2586.
- Wang CS, Rutledge JJ and Gianola D, 1994. Bayesian analysis of mixed linear model via Gibbs sampling with an application to litter size in Iberian pigs. *Journal of Genetic Selection and Evolution* 26: 91-103.
- 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 lactation curve in cattle. *Nature* 216:164-165.

Bayesian estimation of lactation curve parameters in Iranian dairy cows**K Radjabalizadeh¹, S Alijani^{2*}, A Ghorbani³ and T Farahvash³**

Received: June 17, 2021 Accepted: October 30, 2021

¹Department of Animal Science, Shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran²Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran³Assistant Professor, Department of Animal Science, Shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran

*Corresponding author: E mail: sad-ali@tabrizu.ac.ir

 <p>پژوهش‌های علوم دامی Animal Science Research</p>	<p>Journal of Animal Science/vol.32 No.3/ 2022/pp 97-107 https://animalscience.tabrizu.ac.ir</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.2021.46574.1620</p>		

Introduction: The graphical representation of daily milk yield during lactating period is lactation curve. There are many advantages of evaluating the lactation curve in dairy cows, such as designing suitable breeding and management strategies for dairy cattle, genetic evaluation of dairy cows, and the prediction of the total milk yield of cow to explain the flow of milk production over the course of lactation in dairy cows, various mathematical models have been developed (Wilmink 1987; Wood 1967). There are many earlier studies that have successfully applied lactation curves in modeling the milk yield-DIM of Iranian Holstein. In all of these research the classic or Frequentist statistical methods have been used for parameter estimation and statistical inferences. The parameters of these models have not been estimated for Iranian dairy cows using Bayesian method. In the Bayesian approach, the parameters of the model are random variables, and inference is made on parameters using their posterior distributions (in some cases without the assumption of normality of the studied data) and need for huge data (Iqbal et al. 2019). This study was Bayesian estimation of the parameters of Wood, Milkbot, Gompertz, Dijkstra, Cobby and Le Du, Von Bertalanffy, Brody and Logistic mathematical models for the lactation curve.

Material and Methods: This was done using 30618, 30685 and 30627 days in milk (DIM) records of milk yield, fat percentage and protein percentage, respectively. These records were related to the days of 5 to 305 days of the first lactation period of Iranian Holstein cows with 3685 cows out of 350 herds. These data were collected by National Breeding Center and improvement of animal production of Iran in registered herds of Holstein cows. Data were initially adjusted for significant fixed effects that were herd-test-date (HTD) and age at calving. For test-day records of milk yields, an outlier control assessment was conducted. 99.73 % of the observations accounted for data within the $\mu \pm 3$ standard deviations range. Records outside this range have been taken into consideration outliers (Junior et al. 2018). Bayesian inference was used to estimate the subsequent distribution of both unknown parameters of each lactation curve model, using a mixed nonlinear model to which the random lactation effect of each cow was added to account for the individual lactation curve of each cow. The parameters of lactation curves were estimated using the cow's test day records in the MCMC procedure of SAS software. To consider the individual lactation curve of each cow, the effect of each cow was used as a random effect in all nonlinear models. For sampling of the posterior distribution of parameters, the Monte Carlo Markov chain sampling algorithm was obtained by considering the burn-in period, sampling interval (thin) and number of cycles of

150,000, 100 iterations and 400,000 cycles for each, respectively. The effective sample size and Geweke detection test was used to evaluate the sampled amount and calculate the convergence indices. Comparisons of the models were made based on the Deviance Information Criterion (DIC). To determine the significance of the difference between the two models, if the difference between the two nonlinear models was less than 10, the DIC index was considered non-significant and if it was 10 or more, it was considered significant (Iqbal et al., 2019).

Results and Discussion: By examining the statistics of functions and convergence indices, Brody function for milk production and Wood function for fat percentage and protein percentage showed the most suitable model and better fit. The Convergence has been achieved according to Geweke test (Geweke 1992) statistic P-value. In the protein percentage fitting curve, Wood model was selected despite the significance of parameter a in the Geweke test ($P < 0.05$) due to the appropriate trace plot. Effective sample size and the simulation sample size (4000) indicate convergence in all parameters. The differences between DIC values were found greater than 10 points for most of the cases, indicating high significant difference between the fitted models. In the results, the estimated parameters of the Brody function for milk production were 37.219, 0.544 and 0.084 for a , b and c , respectively. For milk fat percentage and milk protein percentage, the estimated parameters of Wood function were 4.29 and 3.53 for a , -0.08 and -0.04 for b , -0.0008 and -0.0004 for c , respectively. For the first 30 days, a modified gamma function gave the best fit for the first lactation (Sherchland et al. 1995). The Wood curve was superior to the Gompertz function in fitting the data and, hence, it was used for biological inference (Hansen et al. 2012). In another study by Bangar and Verma (2017) to compare four nonlinear models, Wood, quadratic model, mixed logarithmic model and Wilmink to fit the shape of lactation curves of milk production and its production traits in Gir crossbred cows in India, Wood model as the best model for Fitting of milk production data and production traits were introduced.

Conclusion: Bayesian method can be used in modeling complex nonlinear functions for lactation curves, especially with a small amount of data. Biological interpretation of these parameters makes it possible to use these estimates in a selection index to genetically modify the lactation curve. This shows that Brody and Wood functions, respectively, as the best model in predicting milk production and production traits in Iranian Holstein cows in the first lactation period.

Keywords: Bayesian estimation, Convergence diagnostic, Holstein cows, Lactation curve, Markov chain Monte Carlo