



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

The use of quantile regression to evaluate some lactation curve characteristics of Iranian dairy cows

Z. Hesami Zostami¹, S. H. Farhangfar^{1*}, M. A. Abbasi², H. Naeemipour Younesi¹

1. Animal Science Department, Agriculture Faculty, University of Birjand, Birjand, Iran

2. Animal Science Research Institute of IRAN (ASRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(Received: 05-10-2025 – Revised: 22-02-2026 – Accepted: 23-02-2026 – Available online: 25-02-2026)

Abstract

Introduction: Over recent decades, numerous mathematical models have been developed to represent the lactation curve of dairy animals. These models are categorized into parametric and non-parametric types, with the three-parameter Wood's gamma incomplete function being extensively utilized for dairy cows. By using the parameters from Wood's model, key lactation characteristics such as peak time, peak yield, and persistency can be determined. These features are considered economic traits, suitable for genetic selection. Previous studies have primarily focused on employing mathematical models to calculate these characteristics based on the average of test day milk records. However, they can also be computed for individual quantiles of test day milk records (TDMR). To our knowledge, no research has yet explored the use of quantile regression for modeling the lactation curve of Iranian dairy cows. Therefore, the primary objective of this study was to assess certain lactation curve characteristics of Iranian dairy cows using the quantile regression technique.

Materials and methods: The data for this study were sourced from the Animal Breeding Centre of Iran. Initially, the dataset was merged and refined using SPSS software. The final dataset included TDMR data from 984,690 dairy cows across 579 herds in 26 provinces nationwide. A total of 15,647,867 TDMR records were collected from the first five parities of cows calving between 1995 and 2021. The TDMR was initially analyzed using a fixed linear model tailored to 20 different combinations of parity and calving season. For each combination, the least squares means of TDMR, measured from 4 to 305 days in milk, were applied to Wood's incomplete gamma function ($y=at^be^{-ct}$) in a quantile-based approach. This parametric three-parameter model (a, b, c) is extensively used to describe lactation curves. The linearized form of Wood's model was fitted to these means using the Quantreg procedure in SAS software, estimating parameters across quantiles from 5 to 95 in increments of 5. Based on these parameters, lactation characteristics such as peak time, peak yield, and persistency were calculated across all parity-calving season combinations. Statistical comparisons of the combination means were conducted using SPSS software.

Results and discussion: The results of this research indicate that peak time, peak yield, and the persistency of the lactation curve in Iranian dairy cows vary across different quantiles of TDMR, parities, and calving seasons. The findings reveal that peak yield increases with higher TDMR quantiles. Conversely, peak time and persistency are greater in the lower TDMR quantiles compared to the upper ones. Across the TDMR quantiles, the minimum (50.92 days) and maximum (93.36 days) peak times, as well as persistency values (6.64 and 7.37), were observed in cows that calved in autumn and began their first or third lactation period ($P<0.05$). Regarding peak yield, cows that calved in spring and started their first lactation had a lower mean yield (31.84 kg), while the highest mean

* Corresponding author: hfarhangfar@birjand.ac.ir



yield (40.43 kg) was noted in cows that calved in autumn and began their fourth lactation period ($P<0.05$). As anticipated, cows in their first parity exhibited greater lactation persistency compared to others. Peak yield was significantly correlated with peak time (-0.9520) and persistency (-0.9516) ($P<0.0001$), suggesting that cows with lower milk yield at peak time tend to reach their peak later and maintain higher persistency post-peak.

Conclusions: The research findings reveal that the peak time, peak yield, and persistency of the lactation curve in Iranian dairy cows differ across the quantiles of test-day milk records. Specifically, peak time and persistency are higher in the lower quantiles compared to the upper ones. Additionally, these lactation characteristics vary across different parities and calving seasons. Based on these results, it is recommended that these variations be considered when using records from various parities for the genetic evaluation of Iranian dairy cows. This consideration is crucial when employing test-day models for genetic analysis of the lactation curve.

Keywords: Lactation characteristics, Milk production, Quantile regression, Wood function, Dairy cow

Ethics statement: This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

Data availability statement: The data used in the present study were provided by the Animal Breeding Centre of Iran.

Conflicts of interest: The authors declare no conflicts of interest.

Funding: The authors received no specific funding for this project.

Acknowledgment: The authors would like to thank the officials of the Animal Breeding Centre and Promotion of Animal Products of Iran (affiliated with the Ministry of Agricultural Jihad) for providing the data used in this study.

How to cite this article:

Hesami Zostami, Z., Farhangfar, S. H., Abbasi, M. A., & Naeemipour Younesi, H. (2026). The use of quantile regression to evaluate some lactation curve characteristics of Iranian dairy cows. *Animal Production Research*, 15(2), 1-17. doi: 10.22124/ar.2026.31890.1928



مقاله پژوهشی

استفاده از رگرسیون کوآنتایل در بررسی برخی خصوصیات منحنی شیردهی گاوهای شیری ایران

زینب حسامی زستمی^۱، سید همایون فرهنگ فر^{۱*}، مختار علی عباسی^۲، حسین نعیمی پور یونسی^۱

۱- بخش علوم دام، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲- مؤسسه تحقیقات علوم دامی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۳ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۴ - تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۱۲/۰۶)

چکیده

هدف از پژوهش کنونی، بررسی ویژگی‌های منحنی شیردهی گاوهای شیری ایران با استفاده از رگرسیون کوآنتایل (چندکی) بود. داده‌های مورد استفاده شامل ۱۵۶۴۷۸۶۷ رکورد روز آزمون شیر بود که از ۹۸۴۶۹۰ رأس گاو در ۵۷۹ گله موجود در ۲۶ استان کشور گردآوری شدند. ابتدا، رکوردهای روز آزمون شیر در ترکیب‌های مختلف نوبت زایش-فصل زایش (و مشتمل بر ۲۰ ترکیب) با استفاده از یک مدل خطی تجزیه و تحلیل شدند. سپس، در هر یک از ترکیبات مزبور، میانگین حداقل مربعات رکوردهای روز آزمون شیر در فاصله روزهای ۴ تا ۳۰۵ شیردهی، در تابع خطی شده گامای وود و با روش رگرسیون کوآنتایل، مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد با بالا رفتن چندک‌های رکوردهای روز آزمون شیر، مقدار تولید شیر در اوج شیردهی، افزایش می‌یابد. زمان رسیدن به اوج شیردهی و میزان تداوم شیردهی در چندک‌های پایینی، بزرگ‌تر از چندک‌های بالایی رکوردهای روز آزمون شیر بودند. در تمامی چندک‌ها، کمترین و بیشترین میانگین زمان رسیدن به اوج شیردهی (۵۰/۹۲ و ۹۳/۳۶ روز) و میزان تداوم شیردهی (۶/۶۴ و ۷/۳۷) به ترتیب مربوط به گاوهایی بود که در پاییز زایش داشتند و در دوره‌های شیردهی سوم یا اول بودند ($P < 0.05$). در رابطه با مقدار تولید شیر در اوج شیردهی، گاوهای زایمان کرده در بهار که دوره اول شیردهی را شروع کرده بودند، کمترین میانگین (۳۱/۸۴ کیلوگرم) و گاوهای زایمان کرده در پاییز که دوره چهارم شیردهی را شروع کرده بودند، بیشترین میانگین (۴۰/۴۳ کیلوگرم) را دارا بودند ($P < 0.05$). با توجه به نتایج تحقیق حاضر، چنان‌چه قرار باشد در امر ارزیابی ژنتیکی گاوهای شیری ایران برای صفت تولید شیر از اطلاعات دوره‌های مختلف شیردهی استفاده شود، ضروری خواهد بود تا تغییرات یاد شده در صفات شیردهی، مدنظر قرار گیرند، به‌ویژه هنگامی که از مدل‌های روز آزمون جهت تجزیه ژنتیکی منحنی شیردهی استفاده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تابع وود، تولید شیر، خصوصیات شیردهی، رگرسیون کوآنتایل، گاو شیری

* نویسنده مسئول: hfarhangfar@birjand.ac.ir

مقدمه

شیردهی، فرآیندی ترکیب شده از ساخت، ترشح و خروج شیر است (Rezaei et al., 2016) که در گاوهای شیری با گوساله‌زایی شروع می‌شود و تا زمان خشک شدن طبیعی یا القایی گاو شیرده ادامه می‌یابد (Angeles-Hernandez et al., 2021). تغییرات تولید شیر طی زمان، تحت یک الگوی خاص و با عنوان منحنی شیردهی توصیف می‌شود که در بسیاری از گونه‌های پستاندار مشابه است (Steri, 2009). هنگامی که عملکرد تولید شیر مطالعه می‌شود، لازم است علاوه بر سطح کلی تولید، ویژگی‌های مرتبط با فعالیت شیردهی گاوها نیز مورد توجه قرار گیرند، که در این خصوص، مدل‌های ریاضی مختلفی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Ruban et al., 2022). در واقع، مدلی که مورد استفاده قرار می‌گیرد برای نمایش ریاضی شکل منحنی شیردهی بر مبنای داده‌های تولید شیر است که می‌توان با استفاده از آن، منحنی شیردهی را به‌لحاظ کمی توصیف نمود و برون‌یابی و تخمین تولید واقعی را از روی مجموعه داده‌های ناقص اجرا کرد (Chen, 2024). بنابراین، مدل‌سازی منحنی شیردهی با استفاده از معادلات ریاضی، نه تنها می‌تواند رفتار تولیدی گاوهای شیری را پیش‌بینی نماید (Montiel-Olguin et al., 2025)، بلکه موارد دیگری مانند اجرای راهبردهای مدیریت تغذیه، شبیه‌سازی سامانه‌های کشاورزی و پیش‌بینی انتشار گازهای گلخانه‌ای را نیز امکان‌پذیر می‌سازد (Castillo-Gallegos, 2018).

آگاهی از شکل منحنی شیردهی در گاوهای شیری مهم است چون الگوی تغییرات تولید شیر طی زمان، می‌تواند تعیین‌کننده بازدهی زیستی و اقتصادی حیوان برای اهدافی مانند برنامه‌های خوراک‌دهی و گزینش باشد (Grossman & Koops, 1988). شکل منحنی شیردهی به‌دلایل مختلفی مورد توجه است به‌طوری که برای مثال، یک گاو با منحنی شیردهی تخت، نسبت به گاوی که منحنی شیردهی تیز دارد، کنسانتره کمتری نیاز خواهد داشت ضمن آن که اختلالات تولید مثلی و مشکلات متابولیکی کمتری را نشان می‌دهد (Madsen, 1975). از این رو، توصیف دقیق منحنی شیردهی برای فعالیت‌هایی نظیر اجرای آزمایش‌های تغذیه‌ای در گاوهای شیری، برآورد کل تولید دوره شیردهی بر اساس رکوردهای ناقص، و پیش‌بینی عملکرد گله بر مبنای رکورد گاوها از اهمیت کاربردی برخوردار است (Sauvant,

1988). افزون بر آن، زمان رسیدن به اوج شیردهی، مقدار تولید در زمان اوج شیردهی، و میزان تداوم شیردهی از خصوصیات مهم شیردهی در گاوهای شیری هستند که بر اساس فراسنجه‌های یک تابع ریاضی توصیف‌کننده منحنی شیردهی (نظیر تابع گامای ناقص وود) قابل محاسبه است (Tekerli et al., 2000; Farhangfar et al., 2023).

در عمده پژوهش‌های انجام شده روی رکوردهای روز آزمون شیر گاوهای شیری، فراسنجه‌های منحنی شیردهی و همچنین، خصوصیات زمان رسیدن به اوج شیردهی، مقدار تولید در زمان اوج شیردهی، و میزان تداوم شیردهی، نه به‌صورت چندکی، بلکه به‌صورت مقداری واحد برای تابع ریاضی برازش یافته بر داده‌ها گزارش شده‌اند (Ghavi Hossein-Zadeh, 2017, 2019; Jiang et al., 2020). در حالی که با استفاده از روش رگرسیون کوآنتایل که به‌وسیله Koenker and Bassett (1978) معرفی شد می‌توان ویژگی‌های شیردهی ذکر شده را در چندک‌های مختلف از متغیر پاسخ محاسبه نمود. برای مثال، در پژوهش انجام شده به‌وسیله Naeemipour Younesi et al. (2019) گاوهای زایش اول هلشتاین ایران، از رگرسیون کوآنتایل برای توصیف منحنی شیردهی استفاده شد و فقط خصوصیات آماری برخی توابع ریاضی در چندک‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ رکوردهای روز آزمون شیر (و برخی صفات تولیدی دیگر) مورد بررسی قرار گرفتند. گرچه در خصوص آثار نوبت زایش و فصل زایمان بر خصوصیت زمان رسیدن به اوج شیردهی گاوهای شیری تحقیقاتی وجود دارد (Kopec et al., 2013)، اما پیرامون اثر چندک رکوردهای روز آزمون شیر بر صفت مزبور تاکنون پژوهشی اجرا نشده است. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف تحقق امر مزبور برای گاوهای شیری ایران و با استفاده از رکوردهای روز آزمون شیر آن‌ها در دوره‌های اول تا پنجم شیردهی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها: داده‌های خام مورد استفاده در این پژوهش به‌وسیله مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات دامی کشور (وابسته به وزارت جهاد کشاورزی) تأمین شد. در ابتدا، فایل‌های متنی حاوی اطلاعات شجره حیوانات، زایش و رکوردهای روز آزمون شیر، به‌درون نرم‌افزار SPSS (ویرایش ۲۶) (George and Mallery, 2020) فراخوانده شده و با یکدیگر ادغام

است. مدل مذکور برای هر یک از زیرگروه‌های ترکیب شده از نوبت زایش (در ۵ سطح) و فصل زایش (در ۴ سطح) به‌طور جداگانه برازش داده شد و میانگین حداقل مربعات رکورد روز آزمون شیر در طول دوره شیردهی (از روز ۴ تا ۳۰۵) برآورد شد.

تجزیه رگرسیون کوآنتایل روی مدل گامای ناقص وود: در روش‌های استاندارد رگرسیون خطی، متوسط ارتباط بین متغیر مستقل x و متغیر وابسته y بر اساس تابع میانگین شرطی $E(y|x)$ در نظر گرفته می‌شود. این موضوع، دربرگیرنده نگاهی جزئی به ارتباط بین متغیرهای مذکور است و اگر هدف آن باشد که این ارتباط، در نقاط مختلفی از توزیع شرطی متغیر وابسته، تبیین شود، لازم است که از روش رگرسیون کوآنتایل استفاده شود. در حقیقت، در رگرسیون کوآنتایل که رگرسیون چندکی نیز نامیده می‌شود، ارتباط بین متغیر مستقل (x) و متغیر وابسته (y)، با استفاده از تابع میانه شرطی $Q_q(y|x)$ توضیح داده می‌شود، که میانه، صدک پنجاهم یا کوآنتایل q ام توزیع تجربی است، ضمن آن که کوآنتایل $q \in (0,1)$ نقاطی از y است که داده‌ها را به نسبت q زیر آن نقطه و $1-q$ بالای آن نقطه، تقسیم می‌نمایند. بر این اساس، در رگرسیون کوآنتایل، کل توزیع متغیر وابسته، مدل‌سازی می‌شود (Biswas et al., 2017).

در این پژوهش، با استفاده از تابع گامای ناقص وود (Wood, 1967) که به‌اختصار مدل وود نیز نامیده شده است، فراسنجه‌های منحنی شیردهی (a, b, c) برای هر یک از ترکیب‌های ۲۰ گانه نوبت زایش-فصل زایش به‌روش کوآنتایل برآورد شدند. دلیل استفاده از مدل پارامتریک وود

شدند. در گام بعد، ویرایش داده‌ها بر اساس موارد زیر انجام شد:

تعداد نوبت زایش: ۵ زایش اول، سن نخستین زایش: ۱۸ ماه، دفعات دوشش در روز: ۳، حداقل فاصله اولین رکوردگیری از زمان زایش: ۴ روز، حداکثر طول دوره‌ی شیردهی: ۳۰۵ روز.

پس از ویرایش، تعداد ۱۵۶۴۷۸۶۷ رکورد روز آزمون شیر جمع‌آوری شده از ۹۸۴۶۹۰ رأس گاو شیری (در نوبت‌های زایش اول تا پنجم) در ۵۷۹ گله از ۲۶ استان کشور باقی ماند. گاوهای مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۰ زایش داشتند. در جدول ۱، ساختار داده‌ها و در جدول ۲، برخی خصوصیات آماری رکوردهای روز آزمون شیر ارائه شده‌اند.

تجزیه حداقل مربعات واریانس برای رکوردهای روز آزمون شیر: رکوردهای روز آزمون شیر به‌وسیله یک مدل خطی و به‌کمک رویه GLM نرم‌افزار SAS (ویرایش ۹/۴) (SAS, 2013)، تجزیه واریانس شدند. مدل آماری به‌صورت زیر بود:

$$y_{ijklmn} = \mu + P_i + H_j(P_i) + Y_k + M_l +$$

$$T_m + (A_{ijklmn}) + (HF_{ijklmn}) + e_{ijklmn}$$

که، y_{ijklmn} ، رکورد شیر روز آزمون (بر حسب کیلوگرم)، μ ، میانگین کل رکوردهای روز آزمون شیر، P_i ، اثر ثابت استان، $H_j(P_i)$ ، اثر ثابت گله درون استان، Y_k ، اثر ثابت سال زایش، M_l ، اثر ثابت ماه در زمان رکوردگیری، T_m ، اثر ثابت روز رکوردگیری (از ۴ تا ۳۰۵)، (A_{ijklmn}) ، اثر متغیر کمکی سن گاو در زمان رکوردگیری، (HF_{ijklmn}) ، اثر متغیر کمکی درصد ژن نژاد هلشتاین، و e_{ijklmn} ، اثر تصادفی باقی‌مانده مدل (با میانگین صفر و واریانس σ_e^2)

جدول ۱- ساختار آماری داده‌های مورد استفاده

Table 1. Statistical structure of the data

Characteristics	Statistics
Total number of milk records	15,647,867
Total number of milk records in parity 1	5,625,606
Total number of milk records in parity 2	4,374,316
Total number of milk records in parity 3	2,904,452
Total number of milk records in parity 4	1,761,324
Total number of milk records in parity 5	982,169
Total number of cows with records	984,690
Total number of sires	9,170
Total number of dams	599,847
Total number of herds	579
Total number of calving years (1995-2021)	27
Total number of provinces	26

جدول ۲- برخی شاخص‌های آمار توصیفی برای رکوردهای روز آزمون شیر (کیلوگرم) در گامه‌های مختلف شیردهی نوبت‌های زایش اول تا پنجم گاوهای شیری ایران

Table 2. Some descriptive statistics for milk test day records (kg) over the course of the lactation from first to fifth parity of Iranian dairy cows

Stage of lactation*	Parity 1		Parity 2		Parity 3		Parity 4		Parity 5	
	No. records	Mean (kg)	No. records	Mean (kg)	No. records	Mean (kg)	No. records	Mean (kg)	No. records	Mean (kg)
1	504,066	29.44	414,618	38.46	284,028	39.58	176,540	38.93	99,894	37.69
2	602,751	34.47	480,943	43.28	326,361	44.92	201,757	44.36	113,891	43.10
3	582,171	35.37	460,077	42.30	309,138	43.94	189,923	43.44	107,132	42.27
4	599,119	35.25	469,550	40.66	313,974	42.00	191,507	41.52	107,650	40.32
5	576,374	34.84	449,673	38.95	298,384	39.94	181,898	39.38	101,429	38.23
6	589,998	34.23	456,889	37.13	301,472	37.83	182,388	37.19	101,427	36.06
7	568,263	33.50	435,603	35.21	285,921	35.56	171,150	34.91	94,948	33.83
8	574,775	32.58	436,335	33.07	285,498	33.12	170,101	32.40	93,372	31.36
9	532,508	31.38	397,722	30.72	258,558	30.47	153,379	29.72	84,072	28.72
10	495,581	30.23	372,906	28.51	241,118	28.10	142,681	27.37	78,354	26.43
Overall	5,625,606	33.25	4,374,316	37.13	2,904,452	37.97	1,761,324	37.43	982,169	36.35

* Stage 1: up to 30 d after calving; Stage 2: 31-60 d; Stage 3: 61-90 d; Stage 4: 91-120 d; Stage 5: 121-150 d; Stage 6: 151-180 d; Stage 7: 181-210 d; Stage 8: 211-240 d; Stage 9: 241-270 d; Stage 10: 271-305 d.

همچنین، مقایسه آماری میانگین هر یک از خصوصیات منحنی شیردهی در بین ترکیب‌های ۲۰ گانه نوبت زایش- فصل زایش با نرم‌افزار SPSS (ویرایش ۲۶) (George & Mallery, 2020) اجرا شد.

نتایج و بحث

زمان رسیدن به اوج شیردهی: در شکل ۱، خصوصیت زمان رسیدن به اوج شیردهی به تفکیک نوبت زایش و فصل زایش در گاوهای شیری ایران که بر مبنای دو فراسنجه b (مرتبط با شیب بالارونده منحنی شیردهی) و c (مرتبط با شیب پایین‌رونده منحنی شیردهی) مدل وود محاسبه شده است (Farhangfar et al., 2023) برای چندک‌های مختلف رکوردهای روز آزمون شیر ارائه شده است. زمان رسیدن به اوج شیردهی، در چندک‌های مختلف رکوردهای روز آزمون شیر، متغیر بود به گونه‌ای که با افزایش چندک، زمان رسیدن به اوج شیردهی، روند تقریباً نزولی نشان می‌دهد، ضمن آن که گاوهای زایش اول دیرتر به اوج شیردهی می‌رسند که با نتایج تحقیقات پیشین نظیر Mellado et al. (2011) مطابقت دارد. در هر نوبت زایش، تفاوت‌هایی بین زمان رسیدن به اوج شیردهی گاوهایی که در فصول مختلف سال، زایمان می‌نمایند نیز وجود دارد. از آن جا که چندک-های بالایی رکوردهای روز آزمون شیر به معنی بالاتر بودن سطح تولید شیر روزانه است، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با افزایش سطح تولید شیر روزانه در گاوهای شیری، زمان رسیدن به اوج شیردهی کاهش پیدا می‌کند (Elahi

آن است که اولاً به‌طور گسترده‌ای در تحقیقات پیشین برای توصیف رفتار تولید شیر مورد استفاده قرار گرفته است (Dijkstra et al., 2010; Bouallegue & M'Hamdi, 2020) و ثانیاً می‌توان مدل مزبور را به شکل خطی نیز تبدیل نمود (Wood, 1967; Cobby & Le Du, 1978). مدل وود به صورت زیر بود:

$$y_t = at^b e^{-ct}$$

که در آن، y_t ، میانگین حداقل مربعات رکورد روز آزمون شیر (به عنوان متغیر وابسته) در روز t اُم شیردهی (به عنوان متغیر مستقل)، a ، فراسنجه مرتبط با سطح تولید شیر، b ، فراسنجه مرتبط با شیب منحنی از زمان زایش تا اوج، c ، فراسنجه مرتبط با شیب منحنی از زمان اوج تا انتهای دوره شیردهی، و e ، عدد ثابت نپر و برابر با 2.71828 است. برازش شکل خطی شده مدل بالا که به صورت $\log_e y_t = \log_e a + b \log_e t - ct$ است با رویه Quantreg نرم‌افزار SAS (ویرایش ۹/۴) (SAS, 2013) انجام شد، و در نهایت، برآورد فراسنجه‌های a و b و c مدل مذکور برای کوآنتایل‌ها یا چندک‌های ۵ تا ۹۵ (و با فاصله ۵) از متغیر وابسته y_t انجام شد. بر اساس فراسنجه‌های برآورد شده مدل وود، خصوصیات منحنی شیردهی گاوهای شیری ایران شامل ۱- زمان رسیدن به اوج شیردهی ($PT = b/c$)، ۲- مقدار تولید شیر در اوج شیردهی ($PY = a(b/c)^b (e)^{-c(b/c)}$) و ۳- میزان تداوم شیردهی ($Per = -(b+1) \log_e c$) در چندک‌های ۵ تا ۹۵ متغیر وابسته y_t نیز محاسبه شدند (Farhangfar et al., 2023).

زایش-فصل زایش ارائه شده است. یافته‌ها نشان داد که در تمامی چندک‌های ۵ تا ۹۵، پایین‌ترین میانگین مقدار تولید شیر در اوج شیردهی مربوط به گاوهایی بود که در فصل بهار زایمان می‌نمایند و برای نوبت‌های زایش اول تا پنجم به ترتیب ۳۱/۸۴، ۳۷/۸۵، ۳۸/۳۸، ۳۷/۸۵ و ۳۶/۰۷ کیلوگرم بود که میانگین‌های مزبور عمده‌تاً با یکدیگر اختلاف معنی‌دار آماری داشتند ($P < 0.05$).

بالاترین میانگین مقدار تولید شیر در اوج شیردهی در گاوهای زایش اول، دوم، چهارم و پنجم به ترتیب ۳۲/۲۴، ۳۹/۳۱، ۴۰/۴۳ و ۳۹/۲۰ کیلوگرم و مربوط به گاوهایی بود که در فصل پاییز زایمان نموده بودند در حالی که بالاترین میانگین صفت مذکور برای گاوهای زایش سوم (۴۰/۳۳ کیلوگرم) متعلق به گاوهایی بود که در فصل زمستان زایمان داشتند. افزایش مقدار تولید شیر در اوج شیردهی همگام با افزایش نوبت زایش گاوهای شیری در تحقیقات گذشته نیز گزارش شده است (Boujenane & Hilal, 2012). دلیل پایین‌تر بودن سطح تولید شیر در گاوهای شکم اول این است که این گروه از گاوها در مرحله رشد هستند و بافت پستان و عروق آن هنوز به تکامل نرسیده است (Vijayakumar et al., 2017)، ضمن این‌که مصرف خوراک روزانه در آن‌ها نسبت به گاوهای چندشکم‌زا کمتر است (Dado & Allen, 1994). از دیگر دلایل افزایش تولید شیر با بالاتر رفتن نوبت زایش می‌توان به تفاوت در کنترل بسیج بافتی بین گاوهای شکم اول و گاوهای چندشکم‌زا و همچنین، متفاوت بودن میزان ترشح هورمون‌های آندوکرینی در زمان زایمان گاوهای نابالغ اشاره نمود که سبب محدود شدن تفکیک مواد مغذی جهت تولید شیر می‌شود (Wathes et al., 2007).

تداوم شیردهی: تغییرات تداوم شیردهی گاوهای شیری ایران در چندک‌های مختلف رکوردهای روز آزمون شیر و به تفکیک فصول زایش در هر یک از نوبت‌های زایمان اول تا پنجم در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تداوم شیردهی گاوهای شیری ایران در هر یک از سطوح چندک‌ها، نوبت زایش و فصل زایش، یکسان نیست و تغییرات دارد. برای مثال، با افزایش چندک رکورد روز آزمون شیر، تداوم شیردهی روند تقریباً نزولی دارد و این امر نشان می‌دهد گاوهایی که از سطح بالاتری در تولید شیر روزانه برخوردار هستند، انتظار می‌رود که تداوم شیردهی کمتری داشته باشند.

(Torshizi, 2016). مقایسه آماری بین میانگین زمان رسیدن به اوج شیردهی (در کل چندک‌های ۵ تا ۹۵) زیرگروه‌های مختلف نوبت زایش-فصل زایش در جدول ۳ ارائه شده است.

برای گاوهایی که در نوبت زایش اول بودند، بالاترین میانگین زمان رسیدن به اوج شیردهی مربوط به فصل زایش پاییز (۹۳/۳۶ روز) بود که با میانگین مربوط به سایر فصول، اختلاف معنی‌دار آماری داشت ($P < 0.05$) و این امر در حالی است که برای نوبت‌های زایش دوم تا پنجم، بالاترین میانگین زمان رسیدن به اوج شیردهی به ترتیب ۵۷/۷۷، ۵۷/۷۴، ۵۹/۶۰ و ۵۹/۷۵ روز و متعلق به گاوهایی بود که در فصل بهار، زایمان داشتند.

برای گاوهای زایش اول، پایین‌ترین میانگین زمان رسیدن به اوج شیردهی، ۸۸/۱۹ روز و مربوط به زایمان در فصل تابستان بود در صورتی که برای نوبت‌های زایش بعدی، پایین‌ترین میانگین ویژگی مذکور به ترتیب ۵۱/۱۳، ۵۰/۹۲، ۵۱/۳۳ و ۵۱/۸۶ روز و متعلق به گاوهایی بود که در فصل پاییز، زایمان نموده بودند.

مقدار تولید شیر در اوج شیردهی: در شکل ۲، مقدار تولید شیر در اوج شیردهی گاوهای شیری ایران برای چندک‌های ۵ تا ۹۵ رکوردهای روز آزمون شیر و به تفکیک نوبت زایش و فصل زایش ارائه شده است. گرچه مشابه با زمان رسیدن به اوج شیردهی، مقدار تولید شیر در اوج شیردهی نیز در چندک‌های مختلف ثابت نبود، اما بر خلاف صفت زمان رسیدن به اوج شیردهی، مقدار تولید شیر در اوج شیردهی، با افزایش چندک، روند صعودی داشت.

افزون بر آن، در هر یک از نوبت‌های زایش، مقدار تولید شیر در اوج شیردهی برای گاوهایی که در فصول مختلف سال زایمان می‌نمایند، یکسان نیست؛ ضمن آن که ویژگی مذکور در بین نوبت‌های مختلف زایش نیز متفاوت است. اثر فصل زایمان (Ihsanullah et al., 2020) و اثر نوبت زایش (Marumo et al., 2022) بر مقدار تولید شیر در اوج شیردهی گاوهای شیری در تحقیقات پیشین نیز گزارش شده است، ولی مشابه با ویژگی زمان رسیدن به اوج شیردهی، تاکنون پژوهشی پیرامون اثر چندک رکوردهای روز آزمون شیر بر مقدار تولید شیر در اوج شیردهی جهت مقایسه با نتایج پژوهش حاضر اجرا نشده است. در جدول ۴، مقایسه آماری بین میانگین مقدار تولید در اوج شیردهی (در کل چندک‌های ۵ تا ۹۵) زیرگروه‌های مختلف نوبت

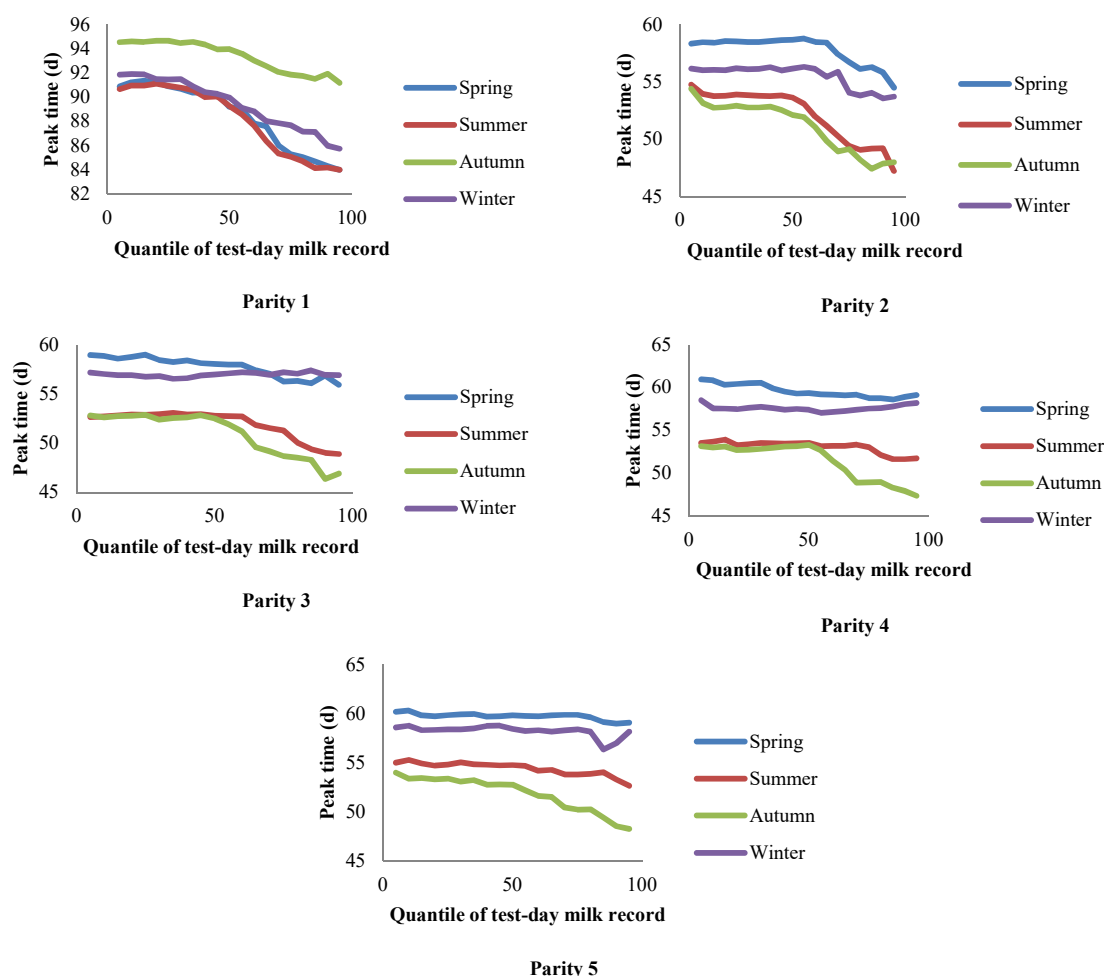


Fig. 1. Changes of peak time (d) at different quantiles of test day milk yield for the cows calved in different year seasons and parities

شکل ۱- تغییرات زمان رسیدن به اوج شیردهی (بر حسب روز) برای چندک‌های مختلف رکوردهای روز آزمون شیر در گاوهای شیری زایش کرده در فصول مختلف سال و نوبت‌های اول تا پنجم زایمان

سبب می‌شود که تنش فیزیولوژیکی کمتری به حیوان وارد شود و در نتیجه، خطر بروز اختلال‌های متابولیک و تولیدمثلی کمتر شوند (Wahinya et al., 2020). لذا انتخاب گاوهایی که تداوم شیردهی بالاتری دارند به‌طور غیرمستقیم سبب افزایش کل تولید شیر و کاهش بیماری‌های عفونی نظیر ورم پستان و مشکلات باروری (Walsh et al., 2011) و در نهایت، منجر به کاهش ژنتیکی حساسیت به بیماری‌ها (Ghavi Hossein-Zadeh, 2014) می‌شود که این امر به نوبه خود باعث افزایش سودآوری اقتصادی گله می‌شود (Dekkers et al., 1998; Pedrosa et al., 2021).

در گاوهای شکم اول، و در کل چندک‌ها، میانگین تداوم شیردهی گاوهایی که در پاییز زایش داشتند، به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر فصول بود ($P < 0.05$)، در حالی که برای سایر نوبت‌های زایش، میانگین تداوم شیردهی گاوهایی که در بهار زایش داشتند بالاتر از سایر فصول بود ($P < 0.05$). در بین ترکیب‌های ۲۰ گانه نوبت زایش-فصل زایش، بالاترین میانگین تداوم شیردهی مربوط به گاوهایی بود که زایش اول خود را در فصل پاییز داشتند (۷/۳۷) که با سایر میانگین‌ها، تفاوت معنی‌دار آماری داشت ($P < 0.05$). معمولاً تداوم شیردهی بالاتر با میزان پایین‌تری از تولید در زمان اوج شیردهی همراه است که همین امر

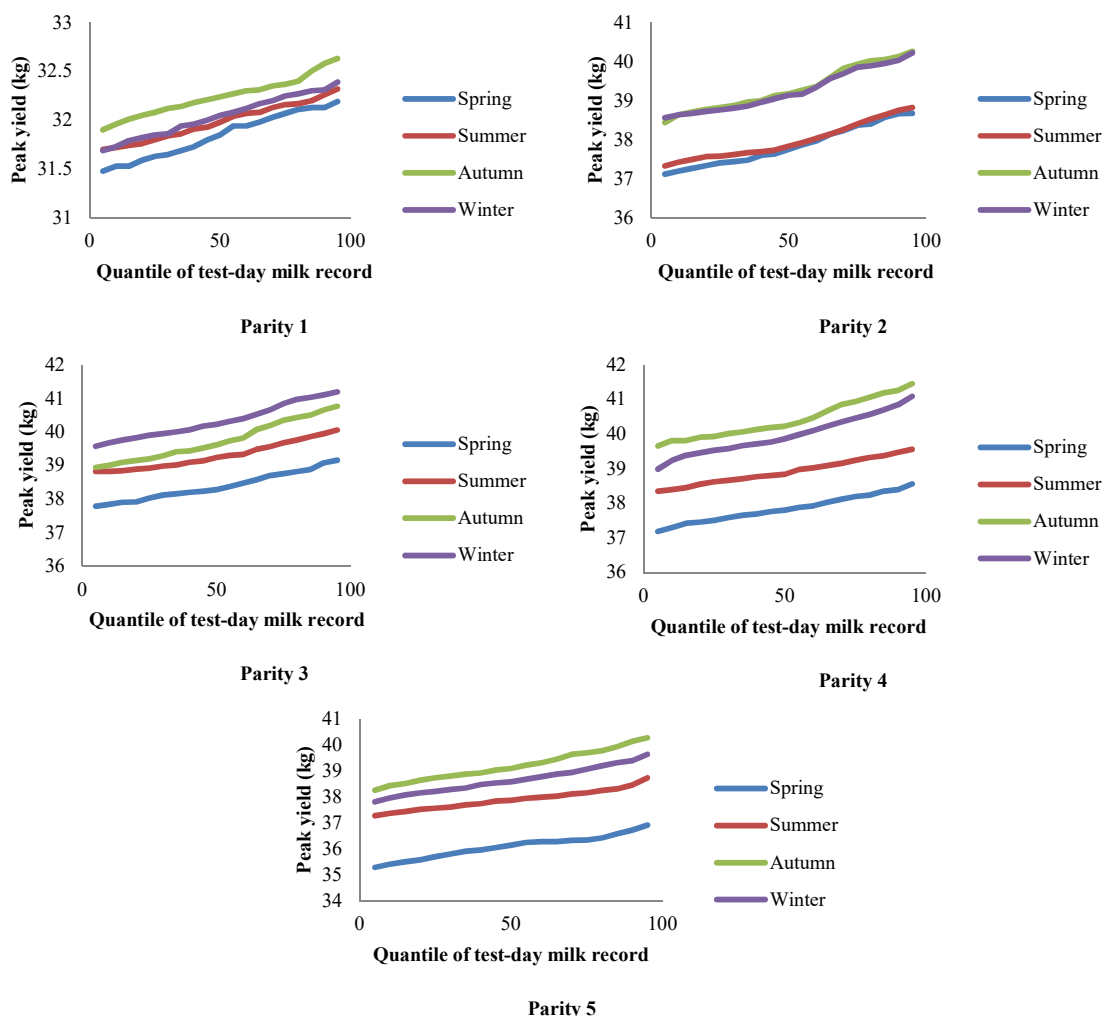


Fig. 2. Changes of peak yield (kg) at different quantiles of test-day milk yield for the cows calved in different year seasons and parities

شکل ۲- تغییرات مقدار تولید شیر در اوج شیردهی (بر حسب کیلوگرم) برای چندک‌های مختلف رکوردهای روز آزمون شیر در گاوهای شیری زایش کرده در فصول مختلف سال و نوبت‌های اول تا پنجم زایمان

فصل زایش، محاسبه شدند که به‌نظر می‌رسد روش محاسباتی رگرسیون کوانتایل برای صفات مذکور تاکنون در تحقیقات گذشته مورد استفاده قرار نگرفته باشد و لذا فاقد سابقه قبلی و مشابه جهت مقایسه با نتایج پژوهش کنونی است. با این حال، در برخی تحقیقات انجام شده روی گاوهای شیری ایران از روش آماری رگرسیون کوانتایل برای بررسی اثر همخوانی بر تولید شیر، تعداد روزهای شیردهی و سن نخستین زایش (Vahedi Darmian et al., 2020)، ارزیابی اثر انتخاب برای تولید شیر بر سن نخستین زایش (Farhangfar et al., 2021)، بررسی منحنی تغییرات درصد‌های چربی و پروتئین (Namjou & Farhangfar, 2022) و بررسی اثر شمار سلول‌های سوماتیک بر مقدار شیر

در عمده پژوهش‌های پیشین، اثر برخی عوامل ژنتیکی و یا محیطی بر فراسنجه‌های مدل وود و گاهاً خصوصیات مرتبط با منحنی شیردهی (مانند زمان رسیدن به اوج شیردهی، مقدار تولید در اوج شیردهی و میزان تداوم شیردهی) مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Atashi et al., 2013; Li et al., 2022; Radjabalizadeh et al., 2022). در پژوهش حاضر، رکوردهای روز آزمون شیر ابتدا بر اساس مدل آماری ذکر شده برای برخی عوامل محیطی تصحیح شدند و سپس مدل وود بر رکوردهای تصحیح شده مزبور برازش داده شد و بر مبنای فراسنجه‌های برآورد شده این مدل، خصوصیات زمان رسیدن به اوج شیردهی، مقدار تولید در اوج شیردهی و میزان تداوم شیردهی در چندک‌های ۵ تا ۹۵ رکوردهای روز آزمون شیر برای زیر گروه‌های ۲۰ گانه نوبت زایش-

در حالی که مقدار تولید در زمان اوج تولید (شکل ۲)، روند افزایشی نشان داد. بر اساس تجزیه همبستگی بین سه ویژگی مورد اشاره، ضریب همبستگی تولید شیر در اوج شیردهی با صفات زمان رسیدن به اوج شیردهی و تداوم شیردهی منفی و به ترتیب -0.95 ($P < 0.001$) و -0.95 ($P < 0.001$) و ضریب همبستگی بین زمان رسیدن به اوج شیردهی و تداوم شیردهی نزدیک به یک ($P < 0.001$) بود. ارتباط منفی مقدار تولید شیر در اوج شیردهی با دو صفت دیگر نشان می‌دهد گاوهایی که در زمان اوج شیردهی از سطح پایین‌تری از تولید برخوردار باشند، انتظار می‌رود که دیرتر به اوج تولید برسند و تداوم شیردهی بالاتری نیز داشته باشند. همبستگی فنوتیپی مثبت بین تداوم شیردهی و زمان رسیدن به اوج شیردهی و همبستگی فنوتیپی منفی بین تداوم شیردهی و مقدار تولید در زمان اوج شیردهی گاوهای شیری نژاد هلشتاین-فریزین کشور مراکش که از مدل وود برای توصیف منحنی شیردهی استفاده کرده بودند نیز گزارش شده است (Boujenane & Hilal, 2012).

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که خصوصیات زمان رسیدن به اوج شیردهی، تولید شیر در اوج شیردهی و تداوم شیردهی گاوهای شیری ایران در چندک‌های مختلف رکوردهای روز آزمون شیر، ثابت نیستند و تغییرات دارند؛ به‌طوری که در چندک‌های پایینی، زمان رسیدن به اوج شیردهی و میزان تداوم شیردهی، بزرگ‌تر از چندک‌های بالایی است. یافته‌ها همچنین نشان دادند که هر یک از خصوصیات شیردهی مزبور در بین نوبت‌های مختلف زایش و همچنین، فصول مختلف زایمان گاوهای شیری ایران، تفاوت دارند. از این رو، چنانچه قرار باشد در امر ارزیابی ژنتیکی گاوهای شیری ایران برای صفت تولید شیر از اطلاعات دوره‌های مختلف شیردهی استفاده شود، ضروری خواهد بود تا تغییرات یاد شده در صفات شیردهی مذکور، مدنظر قرار گیرند به‌ویژه هنگامی که از مدل‌های روز آزمون جهت تجزیه ژنتیکی منحنی شیردهی استفاده می‌شود.

تشکر و قدردانی

از مسؤولین محترم مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات دامی (وابسته به وزارت جهاد کشاورزی) به‌جهت ارائه داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، سپاسگزاری می‌نماییم.

روزانه گامه‌های مختلف شیردهی (Farhangfar et al., 2022) استفاده شده است.

در تحقیق (Farhangfar et al., 2023)، اثر برخی عوامل محیطی نظیر فصل زایش بر زمان رسیدن به اوج شیردهی، مقدار تولید در اوج شیردهی و میزان تداوم شیردهی گاوهای شیری ایران بر اساس سه نوع رکورد روز آزمون شیر در زایش اول و بدون درنظر گرفتن چندک‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند که یافته‌ها نشان داد بر اساس رکوردهای شیر روز آزمون خام، مقدار تولید در اوج شیردهی و تداوم شیردهی گاوهای شکم اولی که در پاییز زایش داشتند بالاتر از سایر فصول زایمان بود که با نتایج به‌دست آمده برای گاوهای شکم اول در پژوهش حاضر، هم‌خوانی دارد. با این حال، زمان رسیدن به اوج شیردهی در تحقیق (Farhangfar et al., 2023) در گاوهایی مشاهده شد که در فصل تابستان زایمان داشتند که با نتایج پژوهش حاضر (که بالاترین زمان رسیدن به اوج شیردهی برای فصل زایمان پاییز گاوهای زایش اول به‌دست آمد) مغایرت دارد که می‌تواند به‌دلیل متفاوت بودن روش مورد استفاده در تجزیه صفت مزبور باشد.

همچنین، مشابه با یافته‌های پژوهش حاضر، در گاوهای شیری دورگ از نژاد جرسی کشور هند، تداوم شیردهی گاوها در زایش اول بالاتر از زایش دوم تا هفتم بود که این امر به بیشتر بودن تعداد سلول‌های ترشحی در بافت پستان گاوهای زایش اول ارتباط داده شد (Koloi et al., 2018). افزون بر آن، تحقیقات نشان داده است گاوهایی که در نوبت زایش اول هستند در مقایسه با گاوهایی که چندشکم‌زا، بدون توجه به گامه شیردهی، میزان کمتری از ریزش سلول‌های اپی‌تلیال بافت پستان را در شیر دارند که این امر بیانگر رشد مداوم پستان در گاوهای شکم اول است (Webster et al., 2024). بنابراین، هرگونه تغییر در نسبت نرخ تکثیر سلول‌های اپی‌تلیال به نرخ مرگ سلولی طی دوره شیردهی بر تداوم شیردهی اثرگذار است و با افزایش نرخ جایگزینی سلولی و یا کاهش میزان مرگ سلولی (آپوپتوزیس)، میزان تداوم شیردهی افزایش پیدا می‌کند (Capuco et al., 2001). بر پایه نتایج پژوهش حاضر، در تمامی نوبت‌های زایش اول تا پنجم و همچنین، فصول مختلف زایمان گاوهای شیری ایران، مقادیر زمان رسیدن به اوج شیردهی (شکل ۱) و تداوم شیردهی (شکل ۳) با افزایش چارک رکورد روز آزمون شیر، روند کاهشی داشتند،

جدول ۳- مقایسه آماری میانگین زمان رسیدن به اوج شیردهی (بر حسب روز) بین ترکیب‌های مختلف نوبت زایش و فصل زایمان گاوهای شیری ایران

Table 3. Statistical comparison of mean* peak time among different combinations of parity and calving seasons of Iranian dairy cows

Combination**	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3	Subset 4	Subset 5	Subset 6	Subset 7	Subset 8	Subset 9	Subset 10
P3S3	19	50.92									
P2S3	19	51.13									
P4S3	19	51.33	51.33								
P5S3	19	51.86	51.86								
P3S2	19	51.90	51.90								
P2S2	19	52.08	52.08								
P4S2	19		53.09	53.09							
P5S2	19			54.42	54.42						
P2S4	19				55.47	55.47					
P3S4	19					56.96	56.96				
P4S4	19						57.61				
P3S1	19						57.74	57.74			
P2S1	19						57.77	57.77			
P5S4	19						58.25	58.25	58.25		
P4S1	19							59.60	59.60		
P5S1	19								59.75		
P1S2	19									88.19	
P1S1	19									88.44	
P1S4	19									89.43	
P1S3	19										93.36
P-value		0.789	0.095	0.557	0.901	0.333	0.613	0.053	0.324	0.677	1.000

* Within each subset, means are not significantly different from each other ($P>0.05$)

** P1, P2, P3, P4, and P5 represent first to fifth parity, respectively, and S1, S2, S3, and S4 represent spring, summer, autumn, and winter seasons, respectively.

جدول ۴- مقایسه آماری میانگین مقدار تولید در اوج شیردهی (بر حسب کیلوگرم) بین ترکیب‌های مختلف نوبت زایش و فصل زایمان گاوهای شیری ایران

Table 4. Statistical comparison of mean peak yield among different combinations of parity and calving seasons of Iranian dairy cows

Combination	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3	Subset 4	Subset 5	Subset 6	Subset 7	Subset 8	Subset 9	Subset 10
P1S1	19	31.84	36.07	37.85	37.89	37.97	38.38	38.65	38.92	39.25	39.75
P1S2	19	31.98									
P1S4	19	32.04									
P1S3	19	32.24									
P5S1	19										
P4S1	19			37.85	37.89	37.97	38.38	38.65	38.92	39.25	39.75
P2S1	19			37.85							
P5S2	19			37.89							
P2S2	19			37.97	38.38	38.65	38.92	39.20	39.31	39.31	39.98
P3S1	19										
P5S4	19										
P4S2	19				38.38	38.65	38.92	39.25	39.31	39.31	39.98
P5S3	19										
P2S4	19										
P3S2	19				38.38	38.65	38.92	39.25	39.31	39.31	39.98
P2S3	19										
P3S3	19										
P4S4	19				38.38	38.65	38.92	39.25	39.31	39.31	39.98
P3S4	19										
P4S3	19										
P-value		0.437	1.000	1.000	0.100	0.963	0.962	0.439	0.098	0.994	0.221

* Within each subset, means are not significantly different from each other ($P>0.05$)

** P1, P2, P3, P4, and P5 represent first to fifth parity, respectively, and S1, S2, S3, and S4 represent spring, summer, autumn, and winter seasons, respectively.

جدول ۵- مقایسه آماری میانگین میزان تداوم شیردهی بین ترکیب‌های مختلف نوبت زایش و فصل زایمان گاوهای شیری ایران

Table 5. Statistical comparison of mean persistency among different combinations of parity and calving seasons of Iranian dairy cows

Combination	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3	Subset 4	Subset 5	Subset 6	Subset 7	Subset 8	Subset 9	Subset 10
P3S3	19	6.64									
P4S3	19	6.65	6.65								
P2S3	19	6.66	6.66								
P5S3	19	6.67	6.67	6.67							
P3S2	19	6.67	6.67	6.67							
P2S2	19		6.69	6.68							
P4S2	19			6.69	6.69						
P5S2	19				6.72	6.72					
P2S4	19					6.75					
P3S4	19						6.75	6.78			
P4S4	19							6.79			
P3S1	19							6.80			
P2S1	19							6.80			
P5S4	19							6.81	6.81		
P4S1	19								6.84		
P5S1	19								6.84		
P1S2	19									7.31	
P1S1	19									7.31	
P1S4	19									7.32	
P1S3	19										7.37
P-value		0.810	0.319	0.326	0.130	0.571	0.093	0.203	0.061	0.982	1.000

* Within each subset, means are not significantly different from each other ($P>0.05$)

** P1, P2, P3, P4, and P5 represent first to fifth parity, respectively, and S1, S2, S3, and S4 represent spring, summer, autumn, and winter seasons, respectively.

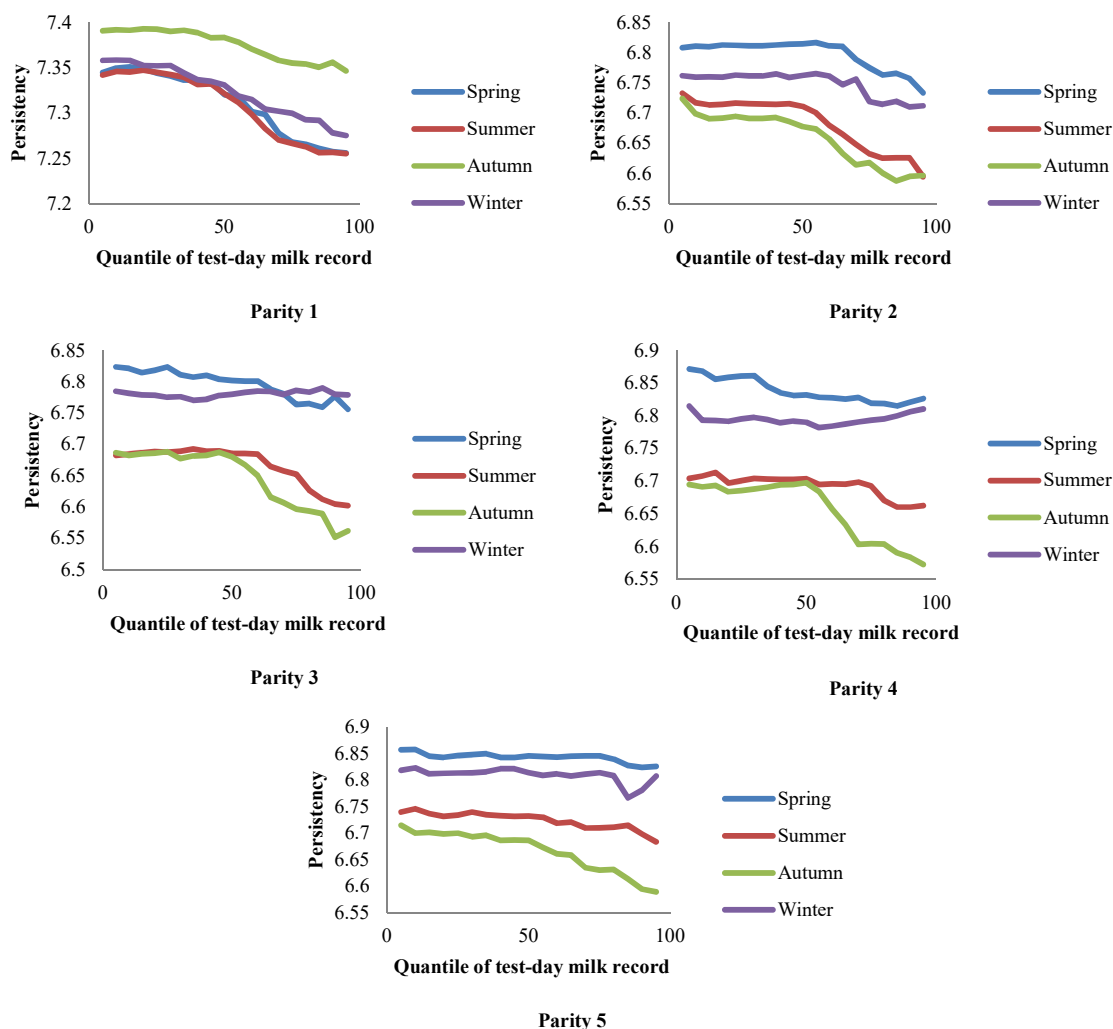


Fig. 3. Changes of persistency at different quantiles of test-day milk yield for the cows calved in different year seasons and parities

شکل ۳- تغییرات میزان تداوم شیردهی برای چندک‌های مختلف رکوردهای روز آزمون شیر در گاوهای شیری
زایش کرده در فصول مختلف سال و نوبت‌های اول تا پنجم زایمان

فهرست منابع

- Angeles-Hernandez, J. V., Aranda-Aguirre, E., Muñoz-Benítez, A. L., Chay-Canul, A. J., Albarran-Portillo, B., Pollott, G. E., & Gonzalez-Ronquillo, M. (2021). Physiology of milk production and modelling of the lactation curve. *CAB Reviews*, 60(056), 1-22. doi: 10.1079/PAVSNNR202116056
- Atashi, H., Zamiri, M. J., Akhlaghi, A., Dadpasand, M., Sayyadnejad, M. B., & Abdolmohammadi, A. R. (2013). Association between the lactation curve shape and calving interval in Holstein dairy cows of Iran. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 14(2), 88-93. doi: 10.22099/IJVR.2013.1580
- Biswas, J., Kulkarni, H., & Das, K. (2017). Quantile regression in biostatistics. *Biostatistics and Biometrics*, 2(5), 102-105. doi: 10.19080/BBOAJ.2017.02.555596
- Bouallegue, M., & M'Hamdi, N. (2020). Mathematical modeling of lactation curves: a review of parametric models. In: *Lactation in Farm Animals - Biology, Physiological Basis, Nutritional Requirements, and Modelization*, Edited by Naceur M'Hamdi. Part of IntechOpen Book Series: Veterinary Medicine and Science, 3, 95-114. doi: 10.5772/intechopen.78900
- Boujenane, I., & Hilal, B. (2012). Genetic and non genetic effects for lactation curve traits in Holstein-Friesian cows. *Archiv Tierzucht*, 55(5), 450-457. doi: 10.5194/aab-55-450-2012

- Capuco, A. V., Wood, D. L., Baldwin, R., Mcleod, K., & Paape, M. J. (2001). Mammary cell number, proliferation, and apoptosis during a bovine lactation: relation to milk production and effect of bST. *Journal of Dairy Science*, 84(10), 2177-2187. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74664-4
- Castillo-Gallegos, E. (2018). Characterization of the lactation curve of f1 Holstein-Zebu cows. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 335-343. doi: 10.19136/era.a5n14.1524
- Chen, Y. (2024). Lactation curve modelling in dairy production: applications at cow and herd level. Ph.D. thesis, Faculty of Veterinary Medicine, Utrecht University, the Netherlands. doi: 10.33540/2148
- Cobby, J., & Le Du, Y. L. P. (1978). On fitting curves to lactation data. *Animal Production*, 26(2), 127-133. doi: 10.1017/S0003356100039532
- Dado, R. G., & Allen, M. S. (1994). Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 77(1), 132-144. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(94)76936-8
- Dekkers, J. C. M., Ten Hag, J. H., & Weersink, A. (1998). Economic aspects of persistency of lactation in dairy cattle. *Livestock Production Science*, 53(3), 237-252. doi: 10.1016/S0301-6226(97)00124-3
- Dijkstra, J., López, S., Bannink, A., Dhanoa, M. S., Kebreab, E., Odongo, N. E., Fathi Nasri, M. H., Behera, U. K., Hernandez-Ferrer, D., & France, J. (2010). Evaluation of a mechanistic lactation model using cow, goat and sheep data. *Journal of Agricultural Science*, 148(3), 249-262. doi: 10.1017/S0021859609990578
- Elahi Torshizi, M. (2016). Effects of season and age at first calving on genetic and phenotypic characteristics of lactation curve parameters in Holstein cows. *Journal of Animal Science and Technology*, 58(8), 1-14. doi: 10.1186/s40781-016-0089-1
- Farhangfar, S. H., Jafari, M., Montazar Torbati, M. B., & Sayyadnezhad, M. B. (2021). Genetic analysis for the trait of first lactation milk production and evaluation of the impact of selection for it on the phenotypic value of age at first calving of Iranian Holsteins using quantile regression. *Animal Production Research*, 10(4), 61-72. doi: 10.22124/AR.2022.18580.1585 [In Persian]
- Farhangfar, S. H., Namjou, M., & Eghbal, A. R. (2022). Estimation of the impact of somatic cell count on daily milk yield in different lactation stages of Iranian dairy cows using quantile regression. *Breeding and Improvement of Livestock Journal*, 2(2), 43-52. doi: 10.22034/BILJ.2022.153230 [In Persian]
- Farhangfar, S. H., Rashidi Toghroljerdi, M. S., Montazer Torbati, M. B., & Sayyad Nezhad, M. B. (2023). A study on the lactation curve characteristics of grade and Iranian purebred Holstein cows with the use of raw, fat corrected, and energy-corrected milk test day records. *Animal Production Research*, 12(2), 71-84. doi: 10.22124/AR.2023.22771.1718 [In Persian]
- George, D., & Mallery, P. (2020). IBM SPSS Statistics 26 Step by Step: A Simple Guide and Reference. 16th Edition. Taylor & Francis.
- Ghavi Hossein-Zadeh, N. (2014). Comparison of non-linear models to describe the lactation curves of milk yield and composition in Iranian Holsteins. *Journal of Agricultural Science*, 152(2), 309-324. doi: 10.1017/S0021859613000415
- Ghavi Hossein-Zadeh, N. (2017). Application of growth models to describe the lactation curves for test-day milk production in Holstein cows. *Journal of Applied Animal Research*, 45(1), 145-151. doi: 10.1080/09712119.2015.1124336
- Ghavi Hossein-Zadeh, N. (2019). Comparison of the parameters of the lactation curve between normal and difficult calvings in Iranian Holstein cows. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(1), 1-13. doi: 10.5424/sjar/2019171-13673
- Grossman, M., & Koops, W. J. (1988). Multiphasic analysis of lactation curves in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 71(6), 1598-1608. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(88)79723-4
- Ihsanullah, I., Qureshi, M. S., Akhtar, S., & Suhail, S. M. (2020). Seasonal stress affects reproductive and lactation traits in dairy cattle with various levels of exotic blood and parities under subtropical condition. *Pakistan Journal of Zoology*, 52(1), 147-155. doi: 10.17582/journal.pjz/2020.52.1.147.155
- Jianga, H., Hickson, R. E., Woods, O. T., Morandeaub, M., Burke, J. L., Correa-Lunaa, M., Donaghya, D. J., & Lopez-Villalobos, N. (2020). Persistency and lactation curves modelled using nonlinear random regression in dairy cows milked once a day. *New Zealand Journal of Animal Science and Production*, 80, 131-136.
- Koenker, R., & Bassett, G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46(1), 33-50. doi: 10.2307/1913643
- Madsen, O. (1975). A comparison of some suggested measures of persistency of milk yield in dairy cows. *Animal Production*, 20(2), 191-197. doi: 10.1017/S0003356100035182
- Koloi, S., Pathak, K., Behera, R., Mandal, D. K., Karunakaran, M., Dutta, T. K., & Mandal, A. (2018). Factors affecting the persistency of milk production in Jersey crossbred cattle. *Journal of Dairy, Veterinary and Animal Research*, 7(6), 268-271. doi: 10.15406/jdvar.2018.07.00225
- Kopeck, T., Chládek, G., Kučera, J., Falta, D., Hanuš, O., & Roubal, P. (2013). The effect of the calving season on the Wood's model parameters and characteristics of the lactation curve in Czech Fleckvieh cows. *Archiv Tierzucht*, 56(80), 808-815. doi: 10.7482/0003-9438-56-080

- Li, M., Rosa, G. J. M., Reed, K. F., & Cabrera, V. E. (2022). Investigating the effect of temporal, geographic, and management factors on US Holstein lactation curve parameters. *Journal of Dairy Science*, 105(9), 7525-7538. doi: 10.3168/jds.2022-21882
- Marumo, J. L., Lusseau, D., Speakman, J. R., Mackie, M., & Hambly, C. (2022). Influence of environmental factors and parity on milk yield dynamics in barn-housed dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 105(2), 1225-1241. doi: 10.3168/jds.2021-20698
- Mellado, M., Antonio-Chirino, E., Meza-Herrera, C., Veliz, F. G., Arevalo, J. R., Mellado, J., & de Santiago, A. (2011). Effect of lactation number, year, and season of initiation of lactation on milk yield of cows hormonally induced into lactation and treated with recombinant bovine somatotropin. *Journal of Dairy Science*, 94(9), 4524-4530. doi: 10.3168/jds.2011-4152
- Montiel-Olguín, L. J., Jesús Ruiz-López, F. D., Gómez-Rosales, S., Cantó-Alarcón, G. J., Estrada-Cortés, E., & Vera-Ávila, H. R. (2025). Comparison of different models to describe the lactation curve of Holstein cows in a small-scale dairy system. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 36, 1-7. doi: 10.3897/ejfa.2025.129407
- Naeemipour Younesi, H., Shariati, M. M., Zerehdaran, S., Jabbari Nooghabi, M., & Løvendahl, P. (2019). Using quantile regression for fitting lactation curve in dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 86(1), 19-24. doi: 10.1017/S0022029919000013
- Namjou, M., & Farhangfar, S. H. (2022). A study on the curve of fat percentage, protein percentage and fat to protein ratio in test day milk records of Iranian dairy cows using quantile regression statistical technique. *Journal of Animal Science*, 32(4), 15-29. doi: 10.22034/AS.2022.29102.1449 [In Persian]
- Pedrosa, V. B., Schenkel, F. S., Chen, S. Y., Oliveira, H. R., Casey, T. M., Melka, M. G., & Brito, L. F. (2021). Genome wide association analyses of lactation persistency and milk production traits in Holstein cattle based on imputed whole-genome sequence data. *Genes*, 12(11), 1-28. doi: 10.3390/genes12111830
- Radjabalizadeh, K., Alijani, S., Gorbani, A., & Farahvash, T. (2022). Estimation of genetic parameters of Wood's lactation curve parameters using Bayesian and REML methods for milk production trait of Holstein dairy cattle. *Journal of Applied Animal Research*, 50(1), 363-368. doi: 10.1080/09712119.2022.2080211
- Rezaei, R., Wu, Z., Hou, Y., Bazer, F. W., & Wu, G. (2016). Amino acids and mammary gland development: nutritional implications for milk production and neonatal growth. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7(20), 1-22. doi: 10.0.4.162/s40104-016-0078-8
- Ruban, S., Danshyn, V., Matvieiev, M., Borshch, O. O., Borshch, O. V., & Korol-Bezpal, L. (2022). Characteristics of lactation curve and reproduction in dairy cattle. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 70(6), 373-381. doi: 10.11118/actaun.2022.028
- SAS Institute. (2013). Base SAS® 9.4 Procedures Guide Statistical Procedures. Second Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sauvant, D. (1988). Modelling of lactation and nutrition. In: Modelling of livestock production systems. Eds: Korver S., & J. A. M. Van Arendonk. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. Pp. 149-155.
- Steri, R. (2009). The mathematical description of the lactation curve of ruminants: issues and perspectives. University of Sassari, Sassari, Italy.
- Tekerli, M., Akinci, Z., Dogan, I., & Akcan, A. (2000). Factors affecting the shape of lactation curves of Holstein cows from the Balikesir province of Turkey. *Journal of Dairy Science*, 83(6), 1381-1386. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75006-5
- Vahedi Darmian, R., Farhangfar, S. H., & Sayyadnezhad, M. B. (2020). Evaluation of the impact of inbreeding coefficient on milk production, lactation length and first calving age of Iranian dairy cows using quantile regression. *Animal Science Journal*, 30(2), 25-39. doi: 10.22034/AS.2020.11452 [In Persian]
- Vijayakumar, M., Park, J. H., Ki, K. S., Lim, D. H., Kim, S. B., Park, S. M., Jeong, H. Y., Park, B. Y., & Kim, T. I. (2017). The effect of lactation number, stage, length, and milking frequency on milk yield in Korean Holstein dairy cows using automatic milking system. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(8), 1093-1098. doi: 10.5713/ajas.16.0882
- Wahinya, P. K., Jeyaruban, M. G., Swan, A. A., Gilmour, A. R., & Magothe, T. M. (2020). Genetic parameters for test-day milk yield, lactation persistency, and fertility in low-, medium-, and high-production systems in Kenya. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 10399-10413. doi: 10.3168/jds.2020-18350
- Walsh, S. W., Williams, E. J., & Evans, A. C. O. (2011). A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 123(3-4), 127-138. doi: 10.1016/j.anireprosci.2010.12.001
- Wathes, D. C., Cheng, Z., Bourne, N., Taylor, V. J., Coffey, M. P., & Brotherstone, S. (2007). Differences between primiparous and multiparous dairy cows in the inter-relationships between metabolic traits, milk yield and body condition score in the periparturient period. *Domestic Animal Endocrinology*, 33(2), 203-225. doi: 10.1016/j.domaniend.2006.05.004

- Webster, H. H., Lengi, A. J., & Corl, B. A. (2024). Mammary epithelial cell exfoliation increases as milk yield declines, lactation progresses, and parity increases. *Journal of Dairy Science Communications*, 5(2), 707-712. doi: 10.3168/jdsc.2023-0534
- Wood, P. D. P. (1967). Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*, 216, 164-165. doi: 10.1038/216164A0