Archive of SID

Iranian Journal of Animal Science
Vol 49, No 1, Spring 2018 (1-9)
DOI: 10.22059/ijas.2017.226874.653505

علوم دامی ایران
دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۷ (ص ۹-۱)

جستجوی ساختار علّی بین صفات گوساله‌زایی در نخستین زایش گاوهای هلشتاین ایران

مرتضی ستائی مختاری[۱]، محمد مرادی شهربابک[۲*]، اردشیر نجاتی جوارمی[۳] و گیلرمه جی ام روزا[٤]

۱. دانشجوی سابق دکتری، گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج و استادیار گروه علوم دامی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

۲ و ۳. استاد و دانشیار، گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

٤. استاد، گروه علوم دامی، دانشگاه ویسکانسین، ویسکانسین- مدیسون، آمریکا

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۸- تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۱/۱۹)

چکیده

در این پژوهش با استفاده از داده‌های گردآوری‌شدهٔ مربوط به صفات گوساله‌زایی شامل سخت‌زایی، وزن تولّد گوساله و طول دورهٔ آبستنی در نخستین زایش ۲۹۹۵۰ رأس گاو هلشتاین ایران که در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ در ۱۳۱ گلهٔ تحت پوشش مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات دامی کشور گردآوری‌شده بودند، ساختار علّی بین صفات گوساله‌زایی با استفاده از الگوریتم جستجوی IC بررسی شد. در ساختار علّی شناسایی‌شده ضریب‌های ساختاری مربوط به تأثیر علّی صفات وزن تولّد گوساله (۰/۰۰۲±۰/۰٦۰) و طول دورهٔ آبستنی (۰/۰۰۲±۰/۰۰۷) بر صفت سخت‌زایی معنی‌دار بودند. تأثیر طول دورهٔ آبستنی بر وزن تولّد گوساله (۰/۰۰۵±۰/۲۱۹) معنی‌دار بود. با در نظر گرفتن این ساختار علّی یک مدل سه صفتی یک‌سویه مبتنی بر مدل‌های معادله‌های ساختاری تدوین و با استفاده از معیار انحراف اطلاعات (DIC) و قابلیت پیش‌بینی (ارزیابی‌شده با معیارهای میانگین مربعات خطا و همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده) با مدل سه صفتی استاندارد متناظر مقایسه شد. نتایج نشان دادند، صفت سخت‌زایی تحت تأثیر علّی وزن تولّد گوساله و طول دورهٔ آبستنی گاو قرار دارد و مدل سه صفتی یک‌طرفه نسبت به مدل سه صفتی استاندارد برتری دارد و در نظر گرفتن رابطه‌های علّی یادشده در ارزیابی ژنتیکی صفات گوساله‌زایی اهمیت دارد.

واژه های کلیدی: **رابطه‌های علّی، سخت‌زایی، طول آبستنی، وزن تولّد گوساله، معادل‌های ساختاری.**

Searching causal structure among calving traits in first-parity Holstein cattles of Iran

Morteza Sattaei Mokhtari [1], Mohammad Moradi Shahrbabak[2*], Ardeshir Nejati Javaremi [3] and Guilherme J. M. Rosa[4]

1. Former Ph.D. Student, Department of Animal Science, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran and Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran
2, 3. Professor and Associate Professor, Department of Animal Science, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Karaj, Iran
4. Professor, Department of Animal Sciences, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI 53706, USA
(Received: Feb. 6, 2017 - Accepted: Apr. 8, 2017)

ABSTRACT

In this research the causal structure among calving traits of 29950 first-parity Holstein cattles of Iran including calving difficulty (CD), birth weight of calves (BW) and gestation length (GL) was revealed applying data collected by Iranian Animal Breeding in 131 herds from 1995 to 2004 by Inductive Causation (IC) searching algorithm. Significant structural coefficients were found for causal effects of BW on CD (0.060±0.002) and of GL on CD (0.007±0.002). Furthermore, the causal effect of GL on BW was significant (0.219±0.005). Considering the revealed causal structure, standard and recursive multivariate models were compared applying deviance Information criterion (DIC) and predictive ability of models in terms of two measures including mean square of error and correlation between observed and predicted values. The obtained results revealed the causal effect of BW and GL on CD and the plausibility of recursive multivariate model over standard multivariate one. Therefore, considering the causal structure among calving traits is of crucial importance.

Keywords: Birth weight, calving difficulty, causal relationships, gestation length, structural equations.

* Corresponding author E-mail: moradim@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

بهبود کارایی و افزایش سود در پرورش گاو شیری به‌طور مستقیم از راه صفات تولیدی و یا به‌طور غیرمستقیم از راه صفات عملکردی[1] امکان‌پذیر است. اصطلاح صفات عملکردی به صفاتی از حیوان اشاره می‌کند که با کاهش هزینه‌های نهاده‌ها کارایی پرورش را افزایش می‌دهند (Groen *et al.*, 1997). صفات گوساله‌زایی به صورت سخت‌زایی از جمله مهم‌ترین صفات عملکردی در گاوهای شیری هستند. سخت‌زایی به دلیل تأثیری که بر هزینه‌های مستقیم (هزینه‌های درمانی، مرگ‌ومیر گوساله یا گاو و هزینهٔ نیروی کار) و هزینه‌های غیرمستقیم (ناشی از تأثیر سوء بر صفات تولیدی، تولیدمثلی و ماندگاری) گله دارد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صفات عملکردی در پرورش و اصلاح نژاد گاو شیری به‌ویژه در نخستین زایش شناخته شده است (Dekkers, 1994). ازاین‌رو، این صفت به‌طور گسترده در برنامهٔ ملّی ارزیابی ژنتیکی بسیاری از کشورها وارد شده است (Mark, 2004). صفات مرتبط با گوساله‌زایی مانند وزن تولّد گوساله (Johanson & Berger, 2003) و طول دورهٔ آبستنی (Lopez de Maturana *et al.*, 2009 ;Hansen *et al.*, 2004) بر سخت‌زایی اثر دارند ازاین‌رو برای ارزیابی ژنتیکی سخت‌زایی به‌عنوان صفات همبسته در قالب مدل‌های چند صفتی پیشنهاد شده‌اند (Jamrozik *et al.*, 2005; Jamrozil & Miller, 2014a). در مدل‌های چند صفتی (که به‌طورمعمول در ارزیابی ژنتیکی صفات تولیدی و تولیدمثلی دام‌های اهلی به کار می‌روند) امکان در نظر گرفتن رابطه‌های علّی بین فنوتیپ‌ها، که در بسیاری سامانه‌های زیستی وجود دارد، فراهم نیست (Gianola & Sorensen, 2004).

مدل‌های معادلهٔ ساختاری[2] یک روش مدل‌سازی آماری برای بررسی و آزمودن رابطه‌های علّی[3] میان صفات است که اغلب در مدل‌های خطی استاندارد در نظر گرفته نمی‌شوند (Rosa *et al.*, 2011). در مدل‌های چند صفتی استاندارد، همهٔ رابطه‌های بین صفات با رابطه‌های خطیِ متقارن بین متغیّرهای تصادفی نشان داده شده و با معیارهایی مانند کواریانس و همبستگی اندازه‌گیری می‌شوند ولی در مدل‌های معادله‌های ساختاری به شرط وجود رابطهٔ عملکردی (علّی) بین صفات، یکی از آن‌ها را می‌توان به‌عنوان پیش‌بینی‌کنندهٔ صفت دیگر به کار برد (Rosa *et al.*, 2011). در نظر گرفتن وجود رابطه‌های علّی بین فنوتیپ‌ها بر فراسنجه‌های ژنتیکی و نیز روش‌های آماری برای استنباط مناسب آن‌ها اهمیت زیادی دارد (Gianola & Sorensen, 2004). پژوهش‌های مختلفی دربارهٔ مقایسهٔ مدل‌های معادله‌های ساختاری و مدل‌های چند صفتی معمول در ارزیابی ژنتیکی صفات اقتصادی نژادهای مختلف گاوهای شیری شامل صفات گوساله‌زایی (Lopez de Maturana *et al.*, 2009)، سخت‌زایی و صفات تولیدمثلی (Lopez de Maturana *et al.*, 2007) انجام شده است که بر برتر بودن مدل‌های مبتنی بر معادله‌های ساختاری در صورت وجود رابطه‌های علّی دلالت داشتند.

تاکنون پژوهشی برای شناسایی رابطه‌های علّی بین صفات گوساله‌زایی در گاوهای هلشتاین ایران انجام نشده است. ازاین‌رو، پژوهش کنونی با هدف جستجوی ساختار علّی بین صفات طول دورهٔ آبستنی، وزن تولّد گوساله و سخت‌زایی در گاوهای هلشتاین ایران در فرآیند زایش نخست و مقایسهٔ مدل چند صفتی ارزیابی ژنتیکی این صفات با در نظر گرفتن ساختار علّی شناسایی‌شده و مدل چند صفتی ارزیابی ژنتیکی استاندارد انجام شد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و صفات

در این پژوهش از رکوردهای ویرایش‌شدهٔ صفات گوساله‌زایی ۲۹۹۵۰ رأس گاو هلشتاین شکم اول استفاده شد که در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ در ۱۳۱ گله تحت پوشش مرکز اصلاح‌نژاد دام و بهبود تولیدات دامی کشور گردآوری شده بودند. صفات گوساله‌زایی بررسی‌شده شامل سخت‌زایی (CD)، وزن تولّد گوساله (BW) و طول دورهٔ آبستنی (GL) بودند. در داده‌های ثبت شده توسط مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات

1. Functional traits
2. Structural equation models
3. Causal relationships

www.SID.ir

Archive of SID

دامی سخت‌زایی (به‌عنوان صفتی از گاو ماده) به‌صورت صفتی با پنج طبقه ثبت می‌شود که طبقهٔ اول، زایش بدون کمک، طبقهٔ دوم زایش با کمک جزئی از سوی دامدار، طبقهٔ سوم زایش با کمک قابل‌توجه، طبقهٔ چهارم زایش با نیاز به کشیدن گوساله و طبقهٔ پنجم زایش با سزارین است. وزن تولّد به‌صورت وزن گوساله پس از تولّد تا بیشینه ۲۴ ساعت پس‌ازآن در نظر گرفته شده است. طول دورهٔ آبستنی نیز به‌صورت فاصلهٔ زمانی بین تاریخ تلقیح منجر به آبستنی و تاریخ زایش پس‌ازآن در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار Fox Pro برای ویرایش داده‌ها استفاده شد. برای ویرایش این صفات از رکوردهای تک‌قلوزایی ناشی از تلقیح مصنوعی استفاده شد. رکوردهای ناقص که اطلاعاتی در مورد تاریخ تولد گوساله، شمارهٔ گله، جنس گوسالهٔ متولدشده و نمرهٔ سخت‌زایی نداشتند در فرآیند ویرایش حذف شدند. فراوانی طبقه‌های چهارم و پنجم سخت‌زایی کم بود بنابراین برای جلوگیری از ایجاد مشکل طبقه‌ای با فراوانی کم[1] طی تجزیه‌وتحلیل‌های ژنتیکی طبقه‌های چهارم و پنجم در طبقهٔ ۳ ادغام شدند (Moreno *et al.*, 1997). در این پژوهش صفات گوساله‌زایی به‌عنوان صفاتی از گاو ماده در نظر گرفته شدند. آمار توصیفی صفات مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. آمار توصیفی صفات گوساله‌زایی در گاوهای هلشتاین ایران در نخستین شکم زایش

Table 1. Descriptive statistics of calving traits in first-parity Iranian Holsteins

Trait [a]	No. of records	Mean	S.D.	Min.	Max.
CD (score)	29950	1.31	0.56	1.00	5.00
BW (kg)	29950	39.77	4.22	24.00	52.00
GL (days)	29950	276.50	4.59	260.00	288.00

a) CD= سخت‌زایی، BW = وزن تولّد گوساله، GL= طول دورهٔ آبستنی.

a) CD= Calving difficulty, BW= Birth weight of calves, GL= Gestation length.

ساختار شجره و داده‌های استفاده‌شدهٔ صفات گوساله‌زایی گاوهای هلشتاین ایران در زایش نخست در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. ساختار شجره و داده‌های استفاده‌شدهٔ صفات گوساله‌زایی گاوهای هلشتاین در زایش نخست

Table 2. Pedigree and data structure of the considered first-parity Holstein cows

Item	Number
In data	
Animals	29950
Sires	563
Average progeny per sire	53.20
Sires-service	933
Average progeny per sire-service	32.20
Dams	25464
In pedigree	
Animals	99765
Sires	3060
Dams	60952
Average progeny per sire	9.78
Animals with both parents known	80807
Animals with both parents unknown	1799
Animals with one parent unknown	17159

جستجوی ساختارهای علّی

برای شناسایی رابطه‌های علّی بین صفات از برنامهٔ ICPS که بر مبنای الگوریتم جستجوی Inductive Causation یا IC در محیط R نوشته شده بود با ۹۹ درصد بیشترین چگالی احتمال پسین استفاده شد (Valente & Rosa, 2013). الگوریتم IC ساختارهای علّی سازگار با توزیع احتمالی مشترک متغیّرهای مورد نظر را جستجو می‌کند. این الگوریتم بر پایهٔ فرضیه‌های ویژه‌ای دربارهٔ داده‌ها مانند فرض کفایت علّی بنانهاده شده است. تحت فرض کفایت علّی، باقی‌مانده‌های مدل معادله‌های ساختاری که ساختار علّی بر پایهٔ آن انتخاب شده است بین صفات مستقل در نظر گرفته می‌شوند (Valente & Rosa, 2013). الگوریتم IC بر پایهٔ همبستگی‌های جزئی میان صفات مجموعه‌ای از تصمیم‌های آماری را انجام می‌دهد. توزیع‌های پسین همبستگی‌های جزئی با استفاده از نمونه‌های پسین ماتریس‌های کوواریانس باقی‌ماندهٔ به‌دست‌آمده از تجزیهٔ چند صفتی به دست می‌آیند و آنگاه برای آزمون غیر صفر بودن همبستگی‌های جزئی به‌کار می‌روند، هنگامی در فاصلهٔ بیشترین چگالی پسین صفر نباشد همبستگی جزئی غیر صفر است. هنگامی همهٔ همبستگی‌های جزئی بین یک جفت از صفات، مشروط به هر زیرمجموعه از صفات، صفر نباشد یعنی این صفات مشروط به همهٔ زیرمجموعه‌های صفات دیگر وابسته هستند، بنابراین

1. Extreme category problem

www.SID.ir

Archive of SID

بین این جفت صفات یک ارتباط علّی مستقیم وجود دارد (Valente & Rosa, 2013).

برنامهٔ ICPS برای اجرا به‌عنوان فایل ورودی به ماتریس واریانس- کواریانس باقی‌ماندهٔ بین صفات نیاز دارد که از تجزیه‌وتحلیل چند صفتی استاندارد صفات مورد نظر به دست می‌آید. بنابراین، در آغاز با استفاده از مدل پدری- پدربزرگ مادری[1] زیر یک تجزیه‌وتحلیل سه صفتی استاندارد انجام شد. آرایش ماتریسی مدل کلی استفاده شده برای تجزیه‌وتحلیل‌های ژنتیکی استاندارد به‌صورت زیر است:

$$y_i = Xb_i + Z_h h_i + Z_{s1} s_{1i} + Z_{s2} s_{2i} + e_i$$

در این مدل‌ها، y_i بردار رکوردها برای i امین صفت، $\mathbf{b_i}$ بردار اثر ثابت برای i امین صفت، $\mathbf{h_i}$ بردار اثرگذاری تصادفی گله- سال- فصل زایش برای i امین صفت (۹۱۸ سطح)، $\mathbf{s_{1i}}$ بردار اثرگذاری تصادفی مربوط به پدر گوساله‌ها برای i امین صفت گوساله‌زایی (۹۳۳ سطح)، $\mathbf{s_{2i}}$ بردار اثرگذاری تصادفی مربوط به پدر گاوها (پدربزرگ مادری) برای i امین صفت (۵۶۳ سطح) و $\mathbf{e_i}$ بردار اثرگذاری باقی‌ماندهٔ مربوط به i امین صفت هستند. ماتریس‌های X، Z_h، Z_{s1} و Z_{s2} ماتریس‌های طرح هستند که اثرگذاری‌های مربوطه را به بردار **y** مرتبط می‌کنند.

برای تعیین اثر ثابت معنی‌دار برای در نظر گرفتن در مدل‌های تجزیه‌وتحلیل ژنتیکی از رویهٔ مدل خطی عمومی[2] نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد (SAS Institute, 2004). بردار اثرات ثابت شامل اثر جنس گوسالهٔ متولّدشده (در دو سطح نر و ماده)، ماه زایش (در ۱۲ سطح) و سن گاو در نخستین زایش (در ۱۹ سطح از ۲۰ ماهگی تا ۳۹ ماهگی) است. در مدل پدری- پدربزرگ مادری بردار اثرگذاری تصادفی مربوط به اثرگذاری پدر گوساله‌ها به‌عنوان اثر ژنتیکی افزایشی مستقیم و بردار اثرگذاری تصادفی مربوط به پدر گاوهای ماده به‌عنوان اثرگذاری ژنتیکی افزایشی مادری برای صفات گوساله‌زایی در نظر گرفته شدند (Lopez de Maturana *et al.*, 2010).

رابطه‌های علّی شناسایی‌شده بین صفات با کمک الگوریتم IC، برای انجام تجزیه تحلیل ژنتیکی سه صفتی تحت مدل‌های معادله‌های ساختاری در قالب مدل زیر استفاده شدند. آرایش ماتریسی مدل کلی استفاده شده برای تجزیه‌وتحلیل‌های ژنتیکی تحت مدل‌های معادله‌های ساختاری به‌صورت زیر است:

$$\mathbf{\Lambda} y_i = Xb_i + Z_h h_i + Z_{s1} s_{1i} + Z_{s2} s_{2i} + e_i$$

همهٔ اجزاء مدل مانند حالت پیش هستند و $\mathbf{\Lambda}$ ماتریس ضریب‌های ساختاری[3] بین صفات است. ماتریس $\mathbf{\Lambda}$، ماتریس مربوط به ضریب‌های ساختاری است که درایه‌های آن میزان رابطه‌های علّی بین صفات را نشان می‌دهند. در مدل استاندارد چند صفتی، که در آن رابطه‌های علّی بین صفات در نظر گرفته نمی‌شوند، ماتریس ضریب‌های ساختاری یک ماتریس همانی[4] هم‌مرتبه با شمار صفات است (Valente & Rosa, 2013). در تجزیه‌وتحلیل ژنتیکی صفات گوساله‌زایی تحت مدل معادله‌های ساختاری سه صفتی، ماتریس ضریب‌های ساختاری مربوطه یک ماتریس ۳×۳ به‌صورت زیر است:

$$\mathbf{\Lambda}_{3\times3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -\lambda_{21} & 1 & 0 \\ -\lambda_{31} & -\lambda_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

λ_{ij} ضریب ساختاری است که میزان تغییر در صفت i در نتیجهٔ تغییر در صفت j را نشان می‌دهد (Gianola & Sorensen, 2004). در این ماتریس صفت اول طول دورهٔ آبستنی، صفت دوم وزن تولّد گوساله و صفت سوم سخت‌زایی است.

تجزیه‌وتحلیل ژنتیکی صفات در قالب مدل‌های چند صفتی استاندارد و مدل‌های چند صفتی مبتنی بر معادله‌های ساختاری با استفاده از نمونه‌برداری گیبس[5] و نرم‌افزار THRGIBBS1F90 (Misztal *et al.*, 2002) و با روش‌های بیزی مبتنی بر زنجیره‌های مونت‌کارلوی مارکوف (MCMC)[6] انجام شد. نمونه‌برداری گیبس یکی از انواع روش‌های زنجیره‌های مونت‌کارلوی مارکوف است که برای نمونه‌برداری از توزیع‌های پسین به کار می‌رود و در آن هر نمونه،

1. Sire-maternal grandsire model
2. General linear model

3. Structural coefficients
4. Identity Matrix
5. Gibbs Sampling
6. Markov Chain Monte Carlo

www.SID.ir

Archive of SID

وابسته به نمونهٔ پیشین است. در نمونه‌گیری گیبس نمونه‌های تصادفی از توزیع‌های پسین حاشیه‌ای[1]، با استفاده از نمونه‌گیری تکراری از توزیع‌های پسین شرطی[2]، تولید می‌شوند (Mrode & Thompson, 2005). برای به دست آوردن نمونه‌های پسین مربوط به اجزاء (کو)واریانس برای هر تجزیهٔ چند صفتی، ۳۰۰۰۰۰ تکرار انجام شد، ۵۰۰۰۰ تکرار اول به‌عنوان دورهٔ قلق گیری[3] کنار گذاشته شدند و فاصله‌های بین نمونه‌ها ۵۰ تعیین شد. بررسی رسیدن به همگرایی و نیز تجزیهٔ پسا گیبس نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار POSTGIBBS1F90 انجام شد (Misztal *et al.*, 2002).

توزیع پیشین اثرگذاری ژنتیکی، گله- سال- فصل زایش و باقی‌مانده ویشارت معکوس[4] فرض شد (Sorensen & Gianola, 2002). سخت‌زایی تحت مدل‌های آستانه‌ای تجزیه‌وتحلیل شد. برای دستیابی به قابلیت شناسایی[5] در تجزیه‌وتحلیل سخت‌زایی طبقهٔ نخست آن صفر و طبقهٔ دوم سخت‌زایی برابر یک در نظر گرفته شد. مدل‌های مختلط چند صفتی یک‌طرفه را می‌توان با برازش صفت (و یا صفات) والد[6] به‌عنوان متغیّر کمکی برای دیگر صفات و در نظر گرفتن همزمان همبستگی‌های ژنتیکی بین صفات اجرا کرد (Lopez de Maturana *et al.*, 2007). در مدل‌های معادله‌های ساختاری به صفتی که بر صفت دیگر تأثیر علّی می‌گذارد صفت والد[7] می‌گویند (Rosa *et al.*, 2011). در این پژوهش نیز از همین روش برای برازش مدل‌های معادله‌های ساختاری یک‌طرفه استفاده شد.

معیارهای مقایسه مدل‌های استاندارد و مدل‌های مبتنی بر معادله‌های ساختاری

مدل‌های چند صفتی استاندارد و مدل‌های چند صفتی مبتنی بر معادله‌های ساختاری با استفاده از معیارهای DIC و قابلیت پیش‌بینی[8] مدل‌ها با هم مقایسه شدند. قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها با استفاده از دو معیار میانگین مربعات خطا (MSE) و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده ($r_{(y,\hat{y})}$) با هم مقایسه شدند (Jamrozik & Miller, 2014a):

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$$

$$r_{(y,\hat{y})} = \frac{cov\,(y,\hat{y})}{\sigma_y\,\sigma_{\hat{y}}}$$

در این رابطه، n شمار مشاهده‌ها برای هر صفت، y_i میزان مشاهده برای فرد i، $\hat{y}_i$ میزان پیش‌بینی‌شده برای فرد i، σ_y انحراف معیار مقادیر مشاهده و $\sigma_{\hat{y}}$ انحراف معیار مقادیر پیش‌بینی‌شده هستند. برای مقایسهٔ قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها از اعتبارسنجی ضربدری[9] استفاده شد. به این منظور، کل مشاهده‌ها پنج بار به‌طور تصادفی به دو زیرمجموعهٔ آزمایش[10] (۲۵ درصد کل مشاهده‌ها) و آموزش[11] (۷۵ درصد کل مشاهده‌ها) تفکیک شدند. برازش مدل در زیرمجموعهٔ آموزش انجام شد و پیش‌بینی رکوردها و قابلیت پیش‌بینی مدل در زیرمجموعهٔ آزمایش بررسی شد. برای بررسی نکویی برازش و قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها از نرم‌افزار PREDICTF90 (Misztal *et al.*, 2002) استفاده شد. میانگین مربعات خطا و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده برای محاسبهٔ قابلیت پیش‌بینی مدل‌های به‌دست‌آمده، میانگین‌گیری از پنج بار محاسبهٔ این دو معیار در زیرمجموعهٔ آزمایش هستند.

نتایج و بحث

۷۴/۰۶ درصد گاوها آسان زا و ۲۵/۹۴ درصد گاوها سخت‌زا (با درجه‌های مختلف سخت‌زایی) بودند. فراوانی طبقه‌های مربوط به نمرهٔ ۴ و ۵ سخت‌زایی به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۰۳ درصد بود که برای جلوگیری از مشکل مربوط به طبقهٔ انتهایی با فراوانی کم در طبقهٔ مربوط به نمرهٔ ۳، ادغام شدند. میانگین حداقل مربعات

1. Marginal posterior distribution
2. Conditional posterior distribution
3. Burn-In
4. Invert Wishart
5. Identifiability
6. Parent trait
7. Parent trait
8. Predictive ability
9. Cross validation
10. Testing set
11. Training set

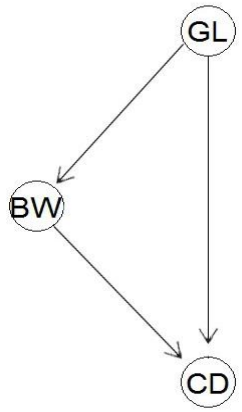
www.SID.ir

Archive of SID

وزن تولّد گوساله‌هایی با تولّد همراه با سخت‌زایی (۰/۰۵ ± ۴۰/۵۵) به‌طور معنی‌داری بیشتر از میانگین حداقل مربعات وزن تولّد گوساله‌هایی با تولّد همراه با آسان زایی (۰/۰۳ ± ۳۹/۵۰) بود (P<۰/۰۱). افزون بر این، میانگین حداقل مربعات طول دورهٔ آبستنی در گاوهای سخت‌زا (۰/۰۵ ± ۲۷۷/۰۲) به‌طور معنی‌داری بیشتر از میانگین حداقل مربعات طول دورهٔ آبستنی در گاوهای آسان زا (۰/۰۲±۲۷۶/۳۷) به دست آمد (P<۰/۰۱) که نشان می‌دهند افزایش وزن تولّد گوساله و طول دورهٔ آبستنی با بروز سخت‌زایی ارتباط مستقیم دارد. نتایج به‌دست‌آمده از یک پژوهش نیز نشان داد که افزایش وزن تولّد گوساله تأثیر زیادی بر بروز سخت‌زایی در گاوهای هلشتاین ایران دارد (Ghoreishi *et al.*, 2013). در پژوهشی دیگر نیز مشخص شد که طول دورهٔ آبستنی در گاوهای هلشتاین-فریژین سخت‌زا بیشتر از گاوهای آسان زا ست که با نتیجهٔ به‌دست‌آمده در پژوهش کنونی همخوانی دارد (Nogalski & Piwszynski, 2012).

جستجوی شبکهٔ توصیف‌کنندهٔ رابطه‌های بین صفات گوساله‌زایی

صفات وزن تولّد گوساله و طول دورهٔ آبستنی گاو را می‌توان به‌عنوان صفات همبسته برای افزایش درستی ارزیابی ژنتیکی سخت‌زایی به کار برد (Lee *et al.*, 2002). امکان استفاده از وزن تولّد گوساله و طول دورهٔ آبستنی گاو به‌عنوان صفات همبسته در ارزیابی ژنتیکی سخت‌زایی گاوهای سیمنتال کانادایی بررسی شده است (Jamrozik & Miller, 2014a) و نتایج به‌دست‌آمده نشان داده که استفاده از وزن تولّد گوساله درستی ارزیابی ژنتیکی سخت‌زایی را بهبود می‌دهد. نمودار ترسیمی از جستجوی ساختار علّی همگن میان طول دورهٔ آبستنی گاو، وزن تولّد گوساله و سخت‌زایی در گاو با استفاده از الگوریتم IC در نمودار ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این نمودار مشخص است هر دو صفت طول دورهٔ آبستنی گاو و وزن تولّد گوساله به‌طور مستقیم بر سخت‌زایی در گاو تأثیر می‌گذارند، افزون بر این از راه طول دورهٔ آبستنی گاو نیز یک تأثیر علّی مستقیمی بر وزن تولّد گوساله و نیز یک تأثیر علّی غیرمستقیم (واسطه‌گری شده از راه وزن تولّد) بر سخت‌زایی اعمال می‌شود. بر پایهٔ وجود تقدّم زمانی بین وزن تولّد گوساله و طول دورهٔ آبستنی گاو نسبت به بروز سخت‌زایی نیز وجود رابطهٔ علّی از سوی این دو صفت بر سخت‌زایی مورد انتظار است.



نمودار ۱. رابطهٔ علّی شناسایی‌شده بین صفات گوساله‌زایی با استفاده از الگوریتم IC

Figure 1. Identified causal relationship between calving traits applying IC algorithm

ضریب‌های ساختاری

میانگین‌های پسین ضریب‌های ساختاری مربوط به اثرگذاری علّی موجود بین صفات گوساله‌زایی در جدول ۳ ارائه شده است. در مورد همهٔ ضریب‌های ساختاری برآوردشده بین صفات گوساله‌زایی فاصلهٔ ۹۹ درصد بیشترین چگالی احتمال پسین، صفر را شامل نمی‌شود که بر وجود رابطه‌های علّی یک‌طرفه بین این صفات شامل تأثیر مستقیم طول دورهٔ آبستنی بر وزن تولّد و سخت‌زایی و نیز تأثیر مستقیم وزن تولّد بر سخت‌زایی دلالت می‌کند. میزان تأثیر علّی طول دورهٔ آبستنی و وزن تولّد گوساله بر سخت‌زایی در مقیاس پشت‌صحنه‌ای سخت‌زایی برآورد شده‌اند. بررسی تأثیر مستقیم طول دورهٔ آبستنی گاو بر وزن تولّد گوساله نشان می‌دهد به ازای هر روز افزایش طول دورهٔ آبستنی در گاو، وزن تولّد گوساله ۰/۲۱۹ کیلوگرم افزایش می‌یابد. تأثیر علّی و مستقیم طول دورهٔ آبستنی بر سخت‌زایی نشان می‌دهد که هر روز افزایش طول دورهٔ آبستنی، سخت‌زایی را به میزان ۰/۰۰۷ در مقیاس پشت‌صحنه افزایش می‌دهد. وزن تولّد گوساله

www.SID.ir

Archive of SID

نیز بر سخت‌زایی گاو تأثیر داشت به‌گونه‌ای که به ازای هر کیلوگرم افزایش وزن تولّد گوساله، سخت‌زایی به میزان ۰/۰۶ در مقیاس پشت‌صحنه‌ای افزایش یافت. در پژوهشی میزان تأثیر علّی وزن تولد گوساله بر میزان سخت‌زایی در گاوهای سیمنتال کانادایی بررسی شد و نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که به ازای هر کیلوگرم افزایش وزن تولد گوساله بروز سخت‌زایی به میزان ۰/۰۴۴ در مقیاس پشت‌صحنه افزایش می‌یابد که به میزان به‌دست‌آمده در پژوهش کنونی نزدیک است (Jamrozik & Miller, 2014b). تأثیر علّی طول دورهٔ آبستنی بر سخت‌زایی گاوهای هلشتاین آمریکا در زایش نخست با استفاده از مدل‌های مختلط یک سویهٔ ناهمگن مبتنی بر معادله‌های ساختاری بررسی شد (Lopez de Maturana *et al.*, 2010) و نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که در طول دورهٔ آبستنی ۲۶۸ تا ۲۷۳ روز، ۲۷۴ تا ۲۷۹ روز و ۲۸۹ تا ۲۹۱ روز به ازای هر روز افزایش طول دورهٔ آبستنی سخت‌زایی به ترتیب ۰/۰۲۰، ۰/۰۳۲ و ۰/۰۴۰ واحد در مقیاس پشت‌صحنه افزایش می‌یابد که بیشتر از میزان به‌دست‌آمده در پژوهش کنونی است اما با نتیجهٔ کلی به‌دست‌آمده در پژوهش کنونی همخوانی دارد که افزایش طول دورهٔ آبستنی سبب افزایش بروز سخت‌زایی در مقیاس پشت‌صحنه می‌شود.

جدول ۳. میانگین‌های پسین ± انحراف معیار پسین ضریب‌های ساختاری اثرگذاری علّی بین صفات گوساله‌زایی

Table 3. Posterior means ± posterior standard deviation (PSD) of structural coefficient of causal effects between studied calving traits

Causal effect [a]	Posterior means ± PSD
GL on BW	$0.219 \pm 0.005^{**}$
GL on CD	$0.007 \pm 0.002^{**}$
BW on CD	$0.060 \pm 0.002^{**}$

a) CD= سخت‌زایی، BW= وزن تولّد گوساله، GL= طول دورهٔ آبستنی.

a) CD= Calving difficulty, BW= Birth weight of calves, GL= Gestation length.

طول دورهٔ آبستنی گاو به‌طور غیرمستقیم از راه اثر گذاشتن بر وزن تولّد گوساله نیز بر سخت‌زایی تأثیر می‌گذارد. اثرگذاری غیرمستقیم طول دورهٔ آبستنی بر سخت‌زایی ۰/۰۱۳ به دست آمد که بیشتر از تأثیر مستقیم آن است. تأثیر کلی طول دورهٔ آبستنی گاو بر سخت‌زایی که حاصل‌جمع اثر مستقیم (۰/۰۰۷) و اثر غیرمستقیم آن، واسطه‌گری شده از راه وزن تولّد، (۰/۰۱۳=۰/۰۶×۰/۲۱۹) است ۰/۰۲ به‌دست آمد. تأثیر غیرمستقیم طول آبستنی بر سخت‌زایی بیشتر از تأثیر مستقیم آن به دست آمد که نشان می‌دهد، تأثیر کلی دورهٔ آبستنی بر سخت‌زایی بیشتر ناشی از تأثیر غیرمستقیم اعمال‌شده از راه وزن تولّد گوساله است. در پژوهشی مشخص شد که به ازای هر کیلوگرم افزایش وزن تولّد گوساله، سخت‌زایی حدود ۱۳ درصد افزایش می‌یابد (Johanson & Berger, 2003).

مقایسهٔ مدل‌های چند صفتی استاندارد و یک‌طرفه

میزان DIC ناشی از مدل سه صفتی یک‌سویه کمتر از میزان DIC مربوط به مدل سه صفتی استاندارد بود (جدول ۴) که نشان می‌دهد مدل سه صفتی یک‌طرفه که وجود این رابطه‌های علّی را در نظر می‌گیرد بر مدل سه صفتی استاندارد برتری دارد.

جدول ۴. مقادیر DIC به‌دست‌آمده تحت مدل‌های چند صفتی استاندارد و یک‌سویه

Table 4. DIC values obtained under standard and recursive multivariate models

Model	DIC
Standard multivariate	302201.29
Recursive multivariate	300644.95

توانایی یک مدل در پیش‌بینی داده‌های آینده از موضوع‌های مورد توجه اصلاح‌نژاد گران است و لذا اهمیت ویژه دارد (Lopez de Maturana *et al.*, 2010). معیارهای چندی برای مقایسهٔ مدل‌ها وجود دارد که از بین آن‌ها میانگین مربعات خطا و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده به دلیل سادگی تفسیرشان و نیز وابستگی کمتر آن‌ها به مقادیر پیشین کاربرد گسترده‌تری دارند (Lopez de Maturana *et al.*, 2010). قابلیت پیش‌بینی مدل‌های استاندارد و یک‌سویه برای هر یک از صفات گوساله‌زایی بر پایهٔ دو معیار میانگین مربعات خطا و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده در جدول ۵

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه شده است. برای صفت طول دورهٔ آبستنی که نسبت به دیگر صفات به‌عنوان صفت والد در نظر گرفته می‌شود میانگین مربعات خطا و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده تحت دو مدل تفاوتی با هم نداشتند. برای دو صفت وزن تولّد گوساله و سخت‌زایی مدل سه صفتی یک‌سویه قابلیت پیش‌بینی بهتری از مدل سه صفتی استاندارد داشت زیرا در مدل سه صفتی یک‌طرفه میانگین مربعات خطا برای این دو صفت کمتر و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده بیشتر از مدل سه صفتی استاندارد بود.

جدول ۵. قابلیت پیش‌بینی مدل‌های چند صفتی استاندارد و یک‌سویه

Table 5. Predictive ability of standard and recursive multivariate models

Trait [a]	Standard multivariate		Recursive multivariate	
	$r(y,\hat{y})$	MSE	$r(y,\hat{y})$	MSE
GL	0.41	17.46	0.41	17.45
BW	0.53	12.71	0.58	11.90
CD	0.49	5.56	0.56	5.37

a) CD= سخت‌زایی، BW= وزن تولّد گوساله، GL= طول دورهٔ آبستنی

a) CD= Calving difficulty, BW= Birth weight of calves, GL= Gestation length

برتر بودن قابلیت پیش‌بینی مدل‌های مختلط چند صفتی مبتنی بر معادله‌های ساختاری نسبت به مدل‌های مختلط چند صفتی استاندارد در مورد ارزیابی ژنتیکی صفات گوساله‌زایی در گاوهای هلشتاین آمریکا نیز گزارش شده است (Lopez de Maturana *et al.*, 2010)، مدلی که در آن از سوی طول دورهٔ آبستنی بر سخت‌زایی و مرده زایی تأثیر علّی مستقیم و از طرف سخت‌زایی نیز بر مرده زایی تأثیر علّی مستقیمی اعمال می‌شد نسبت به مدل استاندارد برتر بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد، از سوی صفات وزن تولّد گوساله و طول دورهٔ آبستنی بر سخت‌زایی تأثیر علّی مستقیمی اعمال می‌شود. افزون بر این طول دورهٔ آبستنی نیز از راه تأثیر بر وزن تولّد گوساله نیز به‌طور غیرمستقیم بر سخت‌زایی تأثیر می‌گذارد. از حیث ارزیابی ژنتیکی، مدل یک‌سویه سه صفتی ارزیابی ژنتیکی صفات گوساله‌زایی بررسی شده، که رابطه‌های علّی بین این صفات را در نظر می‌گیرد، نسبت به مدل استاندارد سه صفتی ارزیابی ژنتیکی از نظر قابلیت پیش‌بینی مدل و DIC برتری دارد که نشان می‌دهد که برای دستیابی به ارزیابی‌های ژنتیکی درست‌تر باید ساختار علّی شناسایی‌شده بین این صفات نیز در نظر گرفت.

سپاسگزاری

از مسئولان ومحققان مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات دامی کشور به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز، تشکر و قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

1. Dekkers, J. C. M. (1994). Optimal breeding strategies for calving ease. *Journal of Dairy Science*, 77, 3441-3453.
2. Gianola, D. & Sorensen, D. (2004). Quantitative genetic models for describing simultaneous and recursive relationships between phenotypes. *Genetics*, 167, 1407-1424.
3. Ghoreishi, S. Sh, Rokouei, M., Sargolzaee, M. & Moghimi Esfandabadi, A. (2013). Studying the effect of calf birth weight on some economically important traits in Holstein dairy cows of Iran. *Iranian Journal of Animal Science*s, 44 (1), 35-43. (in Farsi)
4. Groen, A. F., Steine, T., Colleau, J. J., Pedersen, J. Pribyl, J. & Reinsch, N. (1997). Economic values in dairy cattle breeding, with special reference to functional traits. Report of an EAAP-working group. *Livestock Production Science*, 49, 1-21.
5. Hansen, M., Lund, M.S., Pedersen, J. & Christensen, L. G. (2004). Gestation length in Danish Holsteins has weak genetic associations with stillbirth, calving difficulty, and calf size. *Livestock Production Science*, 91, 23-33.
6. Jamrozik, J., Fatehi, J., Kistemaker, G. J. & Schaeffer, L. R. (2005). Estimates of genetic parameters for Canadian Holstein female reproduction traits. *Journal of Dairy Science*, 88, 2199-2208.
7. Jamrozik, J. & Miller, S. P. (2014a). Genetic evaluation of calving ease in Canadian Simmentals using birth weight and gestation length as correlated traits. *Livestock Science*, 162, 42-49.

www.SID.ir

Archive of SID

8. Jamrozik, J. & Miller, S. P. (2014b). Partitioning of multiple-trait model parameters with respect to phenotypic recursion: case study of birth weight and calving ease in Canadian Simmentals. In: Proceedings of *10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production*, 17-22 Aug., Vancouver, British Columbia, Canada.
9. Johanson, J. M. & Berger, P. J. (2003). Birth weight as a predictor of calving ease and perinatal mortality in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 86, 3745-3755.
10. Lee, D., Misztal, I., Bertrand, K. & Rekaya, R. (2002). National evaluation for calving ease, gestation length and birth weight by linear and threshold model methodologies. *Journal of Applied Genetics*, 43(2), 209-216.
11. Lopez de Maturana, E., Legarra, A., Varona, L. & Ugarte, E. (2007). Analysis of fertility and Dystocia in Holsteins using recursive models to handle censored and categorical data. *Journal of Dairy Science*, 90, 2012-2024.
12. Lopez de Maturana, E., Wu, X-L., Gianola, D., Weigel, K. W. & Rosa, G. J. M. (2009). Exploring biological relationships between calving traits in primiparous cattle with a Bayesian recursive model. *Genetics*, 181, 277-287.
13. Lopez de Maturana, E., de los Campos, G., Wu, X. L., Gianola, D., Weigel, K. A. & Rosa, G. J. M. (2010). Modeling relationships between calving traits: a comparison between standard and recursive mixed models. *Genetics Selection Evolution*, 42(1).
14. Mark, T. (2004). Applied genetic evaluations for production and functional traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 87, 2641-2652.
15. Misztal, I., Tsuruta, S., Strabel, T., Auvray, B., Druet, T. & Lee, D. (2002). BLUPF90 and related programs (BGF90). In: Proceedings of *the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 19-23 Aug., Montpellier, France.
16. Moreno, C., Sorensen, D., Garcia-Cortes, L. A., Varna, L. & Altarriba, J. (1997). On biased inferences about variance components in the binary threshold model. *Genetics Selection Evolution*, 29, 145-160.
17. Mrode, R. & Thompson, R. (2005). *Linear models for the prediction of animal breeding values*. CABI publishing. USA. Pp. 344.
18. Nogalski, Z. & Piwszynski, D. (2012). Association of length of pregnancy with other reproductive traits in dairy cattle. *Asian-Australian Journal of Animal Sciences*, 25(1), 22-27.
19. Rosa, G. J. M., Valente, B. D., de los Campos, G., Wu, X. L., Gianola, D. & Silva, M. A. (2011). Inferring causal phenotype networks using structural equation models. *Genetics Selection Evolution*, 43:6.
20. Sorensen, D. A. & Gianola, D. (2002). *Likelihood, Bayesian and MCMC methods in quantitative genetics*. Springer-Verlag, New York.
21. Statistical Analysis System (SAS). (2004). *SAS Users' Guide*, Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
22. Valente, B. D. & Rosa, G. J. M. (2013). Mixed effects structural equation models and phenotypic causal networks, In: C. Gondro, (Ed), *Genome-Wide Association Studies and Genomic Prediction, Methods in Molecular Biology.* (pp. 449-464.) Springer Sciences.

www.SID.ir