

ارزیابی ژنتیکی صفات تولیدمثلی بز کرکی رائینی با مدل‌های معادلات ساختاری

مرتضی ستائی مختاری^{۱*}، ارسلان برازنده^۱، مسلم مقبلی دامنه^۲ و زهرا رودباری^۱
۱ و ۲. استادیار و مربی، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۴)

چکیده

در پژوهش کنونی از اطلاعات جمع‌آوری شده طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۹ در ایستگاه پرورش و اصلاح نژاد بز کرکی رائینی برای ارزیابی صفات تولیدمثلی ۱۳۱۲ رأس بز ماده نژاد کرکی رائینی و استنباط روابط علی بین آن‌ها استفاده شد. صفات تولیدمثلی بررسی شده شامل تعداد بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد، تعداد بزغاله‌های شیرگیری شده از هر بز مولد، مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد و مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد بودند. سه مدل ارزیابی ژنتیکی شامل مدل‌های چندصفتی استاندارد، چندصفتی یک‌طرفه براساس دانش پیشین و چندصفتی براساس الگوریتم جستجوی IC با استفاده از رویکرد بی‌زین بر داده‌ها برازش داده شدند. مقایسه مدل‌های مذکور با معیار انحراف اطلاعات (DIC)، میانگین مربعات خطا (MSE) و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده ($r_{(y,\hat{y})}$) نشان داد مدل چندصفتی براساس الگوریتم جستجوی IC نسبت به دو مدل دیگر DIC کمتر و برای کلیه صفات MSE کمتر و $r_{(y,\hat{y})}$ بیشتری دارد که بر مطلوبیت آن در ارزیابی ژنتیکی صفات مورد بررسی دلالت دارد. همچنین، تغییر رتبه حیوانات براساس ارزش اصلاحی آن‌ها تحت مدل‌های چندصفتی استاندارد و چندصفتی براساس الگوریتم IC نیز لزوم توجه به روابط علی میان صفات برای دستیابی به رتبه‌بندی صحیح دام‌های مولد را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: روابط علی، صفات تولیدمثلی، قابلیت پیش‌بینی، معادلات ساختاری.

Genetic evaluation of reproductive traits in Raeini Cashmere goat using structural equation modeling

Morteza Sattaei Mokhtari^{1*}, Arsalan Barazandeh¹, Moslem Moghbeli Damaneh² and Zahra Roudbari¹

1, 2. Assistant Professor and Instructor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

(Received: Jul. 8, 2019 - Accepted: Feb. 25, 2020)

ABSTRACT

In the present study, data collected from 1993 to 2011 in Raeini Cashmere goat breeding station were used for genetic evaluation and inferring causal relationships among reproductive traits applying structural equation models. The studied lifetime reproductive traits were included the overall number of kids born (OLSB), the overall number of kids weaned (OLSW), the overall litter weight at birth (OLWB) and the overall litter weight at weaning (OLWW). Three models including standard (SMM), recursive based on prior knowledge (PRM) and recursive based on inductive causation algorithm (ICM) multivariate models were used for genetic evaluation of animals under the Bayesian approach. The comparisons of the investigated models via deviance information criterion (DIC), mean square error (MSE) and Pearson's correlations between observed and predicted records ($r_{(y,\hat{y})}$) revealed that ICM had lower DIC and MSE and higher ($r_{(y,\hat{y})}$) for all the studied lifetime reproductive traits; implying the more plausibility of ICM over SMM and PRM. Furthermore, re-raking of the animals under SMM and ICM confirmed the importance of considering the causal relationship among the traits for ensuring accurate ranking of animals according to their breeding values.

Keywords: Causal relationships, predictive ability, reproductive traits, structural equation models.

* Corresponding author E-mail: msmokhtari@ujiroft.ac.ir

مقدمه

نشخوارکنندگان کوچک مانند بز نقش مهمی در تأمین معیشت پرورش‌دهندگان آنها دارند. بزها عمدتاً تحت سامانه‌های پرورشی کم‌نهاد و در شرایط مرتعی با تکیه بر مراتع کم کیفیت پرورش داده می‌شوند (Kosgey & Okeyo, 2007). در چنین شرایط پرورشی، عملکرد تولیدمثلی ضعیف یکی از عوامل اصلی اثرگذار بر کارایی پرورش بوده و نیز محدودیتی در طراحی یک برنامه اصلاح نژادی و سامانه پرورشی بهینه می‌باشد (Menezes *et al.*, 2016). صفات تولیدمثلی بر سودآوری سامانه‌های پرورش دام‌های اهلی اثر زیادی دارند (Matos *et al.*, 1997). مجموعه‌ای از چندین صفت مانند تعداد بزغاله‌های متولد شده و یا شیرگیری شده از هر رأس مولد ماده و همچنین مجموع وزن تولد و یا مجموع وزن شیرگیری آنها به‌عنوان صفات تولیدمثلی مهم در بسیاری نژادهای بز در نظر گرفته شده است (Mohammadi *et al.*, 2012; Maghsoudi *et al.*, 2009). در مدل‌های چندصفتی ارزیابی ژنتیکی، که به‌طور معمول در ارزیابی ژنتیکی صفات تولیدی و تولیدمثلی دام‌های اهلی به کار می‌روند، امکان در نظر گرفتن روابط علی^۱ بین فنوتیپ‌ها فراهم نیست (Gianola & Sorensen, 2004). چنین روابطی در بسیاری سامانه‌های زیستی وجود دارند. مدل‌های معادلات ساختاری^۲ یک روش مدل‌سازی آماری برای بررسی و آزمودن روابط علی میان صفات است که اغلب در مدل‌های خطی استاندارد در نظر گرفته نمی‌شوند (Rosa *et al.*, 2011). در مدل‌های چندصفتی استاندارد، روابط بین صفات با روابط خطی متقارن بین متغیرهای تصادفی نشان داده شده و با معیارهایی مانند کواریانس و همبستگی اندازه‌گیری می‌شوند. ولی در مدل‌های معادلات ساختاری به شرط وجود رابطه عملکردی (علی) بین صفات، یکی از آنها را می‌توان به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده صفت دیگر به کار برد (Rosa *et al.*, 2011). در نظر گرفتن وجود روابط علی بین فنوتیپ‌ها برای برآورد پارامترهای ژنتیکی و

نیز روش‌های آماری برای استنباط مناسب آنها اهمیت زیادی دارد (Gianola & Sorensen, 2004). در پژوهشی اثر در نظر گرفتن وجود روابط علی بین صفات وزن‌های تولد، شیرگیری و شش ماهگی بز کرکی رائینی بر ارزیابی ژنتیکی این صفات بررسی شد (Mokhtari *et al.*, 2018). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل‌های در برگیرنده روابط علی بین صفات نسبت به مدل‌های چندصفتی استاندارد، که به‌طور معمول در ارزیابی ژنتیکی صفات استفاده می‌شوند، برای ارزیابی ژنتیکی برتری دارند. در پژوهش دیگری با استفاده از مدل‌های معادلات ساختاری پارامترهای ژنتیکی صفات رشد در گوسفند لری-بختیاری تحت سه مدل چندصفتی استاندارد، چندصفتی یک‌طرفه براساس توالی زمانی و چندصفتی یک‌طرفه کامل برآورد شدند و مدل چندصفتی یک‌طرفه براساس توالی زمانی بین صفات نسبت به دیگر مدل‌های در نظر گرفته شده برای ارزیابی ژنتیکی برتر تشخیص داده شد (Amou Posht-e Masari *et al.*, 2018). در پژوهشی دیگر اثر در نظر گرفتن روابط علی بین صفات رشد گوسفند لری-بختیاری بر قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها و رتبه‌بندی حیوانات بررسی شد (Amou Posht-e Masari *et al.*, 2019). نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌های مبتنی بر معادلات ساختاری نسبت به مدل‌های چندصفتی استاندارد قابلیت پیش‌بینی بهتری داشته و در نظر نگرفتن روابط علی سبب رتبه‌بندی نادرست افراد براساس ارزش اصلاحی می‌گردد. با وجود مزیت‌های ذکر شده برای ارزیابی ژنتیکی براساس مدل‌های معادلات ساختاری، هنوز در عمل از این مدل‌ها برای برآورد ارزش‌های اصلاحی در مراکز اصلاح نژادی استفاده نمی‌شود که از جمله دلایل آن می‌توان به جدید بودن این مدل‌ها در ژنتیک کمی و اصلاح نژاد دام و هم‌زمانی معرفی آنها با ارائه روش‌های ارزیابی ژنومیک اشاره نمود، به نحوی که توسعه و کاربردشان در ارزیابی ژنتیکی دام‌های اهلی تحت تأثیر سرعت فزاینده توسعه روش‌های ارزیابی ژنومیک قرار گرفته است. پارامترهای ژنتیکی برخی صفات تولیدمثلی در بز کرکی رائینی تحت مدل‌های چندصفتی استاندارد

1. Causal relationships

2. Structural equation models

جدول ۱. آمار توصیفی صفات تولیدمثلی بز کرکی رائینی
Table 1. Descriptive statistics for reproductive traits
in Raieini Cashmere goat

Trait ^a	No. of records	Mean	SD	Min.	Max.
OLSB (No.)	1312	3.66	1.54	3	7
OLSW (No.)	1312	2.74	1.42	2	7
OLWB (kg)	1312	8.23	3.91	3.12	27.54
OLWW(kg)	1312	27.63	13.41	13.02	89.20

(a) OLSB: تعداد بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد، OLSW: تعداد بزغاله‌های شیرگیری شده از هر بز مولد، OLWB: مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد، OLWW: مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد

a) OLSB= Overall litter size at birth, OLSW= Overall litter size at weaning, OLWB= Overall litter weight at birth, OLWW= Overall litter weight at weaning

در الگوریتم IC ساختارهای علی سازگار با توزیع احتمالی مشترک متغیرهای مورد نظر را جستجو می‌کند. این الگوریتم براساس فرضیات ویژه‌ای درباره داده‌ها مانند فرض کفایت علی بنا نهاده شده است. تحت فرض کفایت علی، باقی‌مانده‌های مدل معادلات ساختاری، که ساختار علی براساس آن انتخاب شده است، بین صفات مستقل در نظر گرفته می‌شوند (Valente & Rosa, 2013). در الگوریتم IC مجموعه‌ای از تصمیم‌های آماری براساس همبستگی‌های جزئی^۵ بین صفات انجام می‌گیرد. توزیع‌های پسین همبستگی‌های جزئی با استفاده از نمونه‌های پسین ماتریس‌های کواریانس باقی مانده حاصل از آنالیز چندصفتی به دست می‌آیند و سپس برای آزمون غیر صفر بودن همبستگی‌های جزئی به کار می‌روند، وقتی در فاصله بیشترین چگالی پسین صفر نباشد همبستگی جزئی غیر صفر است. وقتی همه همبستگی‌های جزئی بین یک جفت از صفات، مشروط به هر زیر مجموعه از صفات، صفر نباشد یعنی این صفات مشروط به تمام زیر مجموعه‌های صفات دیگر وابسته هستند، پس بین این جفت صفات یک ارتباط علی مستقیم وجود دارد (Valente & Rosa, 2013). برنامه ICPS برای اجرا به‌عنوان فایل ورودی به ماتریس کواریانس - کواریانس باقی مانده بین صفات نیاز دارد که از تجزیه و تحلیل چندصفتی استاندارد صفات مورد نظر به دست می‌آید. بنابراین، ابتدا با استفاده از مدل دام زیر تجزیه و تحلیل چهار صفتی استاندارد انجام شد. آرایش ماتریسی مدل کلی استفاده شده برای

گزارش شده‌اند (Mohammadi et al., 2012; Maghsoudi et al., 2009). تاکنون پژوهشی در خصوص ارزیابی ژنتیکی صفات تولیدمثلی بز کرکی رائینی با در نظر گرفتن روابط علی بین آن‌ها انجام نشده است. بنابراین، پژوهش کنونی برای جستجوی ساختار و استنباط روابط علی بین صفات تولیدمثلی بز کرکی رائینی با استفاده از مدل‌های معادلات ساختاری و نیز مقایسه آنها با مدل‌های چندصفتی استاندارد انجام شد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش کنونی از اطلاعات شجره‌ای و داده‌های جمع آوری شده طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۹ در ایستگاه اصلاح نژاد بز کرکی رائینی، واقع در شهرستان بافت، استان کرمان، استفاده شد. داده‌ها با نرم افزار Microsoft Visual FoxPro 9.0 ویرایش شدند. طی فرایند ویرایش و آماده‌سازی اطلاعات رکوردهای وزن تولد و شیرگیری و نیز تعداد بزغاله‌های متولد شده و شیرگیری شده حاصل از هر راس بز ماده زایش کرده در طول عمر آن ثبت شدند. وجود حداقل سه رکورد زایش متوالی برای هر رأس بز ماده مولد در نظر گرفته شد. در ابتدا، رکوردهای وزن تولد و شیرگیری بزغاله‌ها برای اثرات جنس بزغاله و سن شیرگیری تصحیح شدند. صفات بررسی شده در پژوهش کنونی تعداد کل بزغاله‌های متولد شده^۱ (OLSB)، تعداد کل بزغاله‌های شیرگیری شده^۲ (OLSW)، مجموع وزن تولد بزغاله‌های متولد شده^۳ (OLWB) و مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌های شیرگیری شده^۴ (OLSW) از هر رأس بز مولد کرکی رائینی بودند. آمار توصیفی صفات مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

برای شناسایی روابط علی بین صفات از برنامه ICPS که بر مبنای الگوریتم جستجوی Inductive Causation یا IC در محیط نرم‌افزار R نوشته شده بود با ۹۹ درصد بیشترین چگالی احتمال پسین استفاده گردید (Valente & Rosa, 2013).

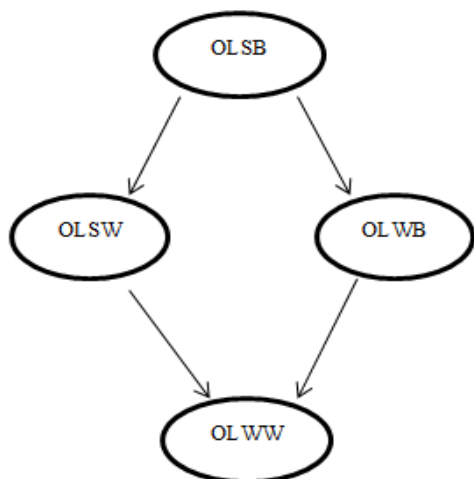
1. Overall litter size at birth
2. Overall litter size at weaning
3. Overall litter weight at birth
4. Overall litter weight at weaning

شیرگیری شده از هر بز مولد و صفت چهارم مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد می‌باشند.

ماتریس ضرایب ساختاری در نظر گرفته شده در مدل چندصفتی مبتنی بر الگوریتم IC، یک ماتریس 4×4 به صورت زیر بود:

$$\Lambda_{IC} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\lambda_{21} & 1 & 0 & 0 \\ -\lambda_{31} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\lambda_{42} & -\lambda_{43} & 1 \end{bmatrix}$$

در این مدل وجود ارتباط علی از طرف صفت اول بر صفات دوم و سوم و نیز از طرف صفات دوم و سوم بر صفت چهارم در نظر گرفته می‌شود که این روابط علی با درایه نشان داده شده با λ به‌عنوان ضریب ساختاری مربوطه مشخص شده‌اند. وجود عدد صفر در ماتریس ضرایب ساختاری نشان‌دهنده عدم وجود رابطه علی می‌باشد. در این ساختار صفت اول بر صفت چهارم و نیز صفت دوم بر صفت سوم تأثیر علی ندارد (شکل ۱).



شکل ۱. ساختار علی شناسایی شده بین صفات تولیدمثلی بررسی شده بز کرکی رائینی با الگوریتم جستجوی IC
Figure 1. Causal structure revealed among reproductive traits in Raeini Cashmere goat applying IC algorithm

در مدل چندصفتی یک‌طرفه مبتنی بر دانش پیشین، ماتریس ضرایب ساختاری تحت یک ماتریس 4×4 به صورت زیر است:

$$\Lambda_{PR} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\lambda_{21} & 1 & 0 & 0 \\ -\lambda_{31} & 0 & 1 & 0 \\ -\lambda_{41} & -\lambda_{42} & -\lambda_{43} & 1 \end{bmatrix}$$

تجزیه و تحلیل‌های ژنتیکی استاندارد به صورت زیر بود (رابطه ۱):

$$y_i = Xb_i + Za_i + e_i \quad (1)$$

در این مدل، y_i بردار رکوردها برای i امین صفت، b_i بردار اثرات ثابت برای i امین صفت (سن نخستین بزغاله زایی و سال نخستین زایش بز ماده)، a_i بردار اثرات تصادفی ژنتیکی افزایشی برای i امین صفت (۹۱۸ سطح) و e_i بردار اثرات باقی مانده مربوط به i امین صفت می‌باشند. ماتریس‌های X و Z ماتریس‌های طرح هستند که اثرات مربوطه را به بردار y مرتبط می‌کنند. در پژوهش کنونی، دو مدل مبتنی بر معادلات ساختاری در نظر گرفته شد. در مدل اول فرض گردید هر صفت براساس دانش پیشین بر صفت یا صفات پس از خود به‌طور علی اثر گذارد. در مدل دوم روابط علی شناسایی شده بین صفات با کمک الگوریتم IC، برای انجام تجزیه تحلیل ژنتیکی چهار صفتی تحت مدل‌های معادلات ساختاری در قالب مدل زیر استفاده گردیدند. آرایش ماتریسی مدل کلی استفاده شده برای تجزیه و تحلیل‌های ژنتیکی تحت مدل‌های معادلات ساختاری به صورت زیر بود (رابطه ۲):

$$\Lambda y_i = Xb_i + Za_i + e_i \quad (2)$$

تمامی اجزای مدل مانند حالت قبل می‌باشند و Λ ماتریس ضرایب ساختاری بین صفات می‌باشد. ماتریس Λ ، ماتریس مربوط به ضرایب ساختاری می‌باشد که درایه‌های آن مقدار روابط علی بین صفات را نشان می‌دهند. در مدل استاندارد چندصفتی، که در آن روابط علی بین صفات در نظر گرفته نمی‌شوند، ماتریس ضرایب ساختاری یک ماتریس همانی هم مرتبه با تعداد صفات است (Valente & Rosa, 2013). در تجزیه و تحلیل ژنتیکی تحت مدل معادلات ساختاری چهار صفتی، دو نوع مدل شامل مدل چندصفتی یک‌طرفه مبتنی بر دانش پیشین^۱ و مدل چندصفتی مبتنی بر الگوریتم IC در نظر گرفته شدند. در این ماتریس‌ها صفت اول تعداد بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد، صفت دوم مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد، صفت سوم تعداد بزغاله‌های

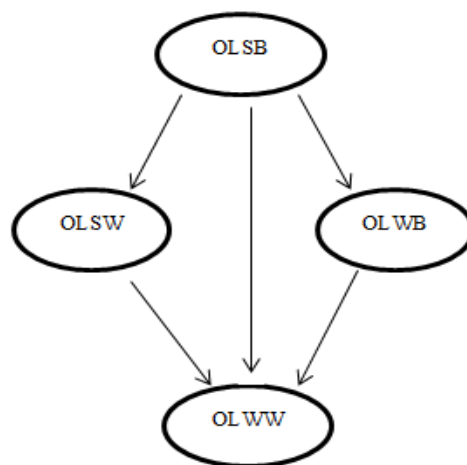
نرم افزار GIBBS2F90 (Misztal *et al.*, 2002) و با روش‌های بیزی مبتنی بر زنجیره‌های مونت کارلوی مارکوف (MCMC) انجام شد. برای به دست آوردن نمونه‌های پسین مربوط به اجزای (کو) واریانس برای هر آنالیز چندصفتی، ۱۰۰۰۰۰ تکرار انجام شد، ۱۰۰۰۰ تکرار اول به عنوان دوره قلق‌گیری^۲ کنار گذاشته شدند و فواصل بین نمونه‌ها ۱۰ تعیین گردید. بررسی حصول همگرایی و نیز تجزیه پسا گیبس نمونه‌ها با استفاده از نرم افزار POSTGIBBS1F90 انجام شد (Misztal *et al.*, 2002). توزیع پیشین اثرات ژنتیکی افزایشی و باقی‌مانده ویشارت معکوس فرض گردید (Sorensen & Gianola, 2002). مدل‌های چندصفتی استاندارد و مدل‌های چندصفتی مبتنی بر معادلات ساختاری شامل چندصفتی یک‌طرفه مبتنی بر دانش پیشین و چندصفتی براساس الگوریتم IC با استفاده از معیارهای DIC^۳ و قابلیت پیش‌بینی^۴ مدل‌ها با هم مقایسه شدند. قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها با استفاده از دو معیار میانگین مربعات خطا^۵ (MSE) و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده $(r_{(y,\hat{y})})$ با هم مقایسه گردیدند (رابطه‌های ۳ و ۴):

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \quad (3)$$

$$r_{(y,\hat{y})} = \frac{cov(y, \hat{y})}{\sigma_y \sigma_{\hat{y}}} \quad (4)$$

در این روابط، n تعداد مشاهدات برای هر صفت، y_i مقدار مشاهده برای فرد i، \hat{y}_i مقدار پیش‌بینی شده برای فرد i، σ_y انحراف معیار مقادیر مشاهده و $\sigma_{\hat{y}}$ انحراف معیار مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشند. برای مقایسه قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها از اعتبار سنجی ضربدری^۶ استفاده گردید. به این منظور، کل مشاهدات پنج بار به طور تصادفی به دو زیر مجموعه آزمایش^۷ (۵۰ درصد کل مشاهدات) و آموزش^۸ (۵۰ درصد کل

در این مدل وجود ارتباط علی از طرف صفت اول بر دیگر صفات و نیز از طرف صفات دوم و سوم بر صفت چهارم در نظر گرفته می‌شود. عدد صفر در درایه ستون دوم و سطر سوم نشان می‌دهد از طرف صفت دوم (مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد) تأثیر علی بر صفت سوم (تعداد بزغاله‌های شیرگیری شده از هر بز مولد) اعمال نمی‌گردد (شکل ۲).



شکل ۲. ساختار علی یک‌طرفه براساس دانش پیشین بین صفات تولیدمثلی بررسی شده بز کرکی رائینی

Figure 2. Causal structure among reproductive traits in Raeini Cashmere goat based on prior knowledge

مدل‌های مختلط چندصفتی یک‌طرفه مبتنی بر معادلات ساختاری را می‌توان با برازش صفت (یا صفات) والد^۱ به عنوان متغیر کمکی برای دیگر صفات و در نظر گرفتن همزمان همبستگی‌های ژنتیکی بین صفات اجرا نمود (Lopez de Maturana *et al.*, 2007). در مدل‌های معادلات ساختاری به صفتی که بر صفت دیگر تأثیر علی می‌گذارد صفت والد می‌گویند (Rosa *et al.*, 2011). در پژوهش حاضر نیز از همین روش برای برازش مدل‌های معادلات ساختاری و در نظر گرفتن تعداد بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد به عنوان صفت والد استفاده شد.

تجزیه و تحلیل ژنتیکی صفات در قالب مدل‌های چندصفتی استاندارد و مدل‌های چندصفتی مبتنی بر معادلات ساختاری با استفاده از نمونه برداری گیبس و

2. Burn-In period
3. Deviance information criterion
4. Predictive ability
5. Mean square of error
6. Cross validation
7. Testing set
8. Training set

1. Parent trait

$$\mathbf{R}^* = \mathbf{\Lambda}^{-1} \mathbf{R} \mathbf{\Lambda}'^{-1} \quad (۷)$$

$$\mathbf{P}^* = \mathbf{\Lambda}^{-1} \mathbf{P} \mathbf{\Lambda}'^{-1} \quad (۸)$$

\mathbf{G}^* ، \mathbf{R}^* و \mathbf{P}^* به ترتیب ماتریس‌های (کو) واریانس ژنتیکی، (کو) واریانس باقی مانده و (کو) واریانس فنوتیپی حاصل از تبدیل پارامترهای سیستم به معادل استاندارد می‌باشند. \mathbf{R} ، \mathbf{G} و \mathbf{P} به ترتیب ماتریس‌های (کو) واریانس ژنتیکی، (کو) واریانس باقی مانده و (کو) واریانس فنوتیپی حاصل از مدل‌های استاندارد می‌باشد. ماتریس $\mathbf{\Lambda}$ ماتریس مربوط به ضرایب ساختاری می‌باشد که درایه‌های آن براساس روابط علی بین صفات تعیین می‌گردند. $\mathbf{\Lambda}^{-1}$ و $\mathbf{\Lambda}'^{-1}$ نیز به ترتیب معکوس ماتریس لامبدا و معکوس ترانهاد ماتریس لامبدا می‌باشند

نتایج و بحث

جستجوی شبکه توصیف‌کننده روابط بین صفات تولیدمثلی

در سازه حاصل از جستجوی ساختار علی میان صفات تولیدمثلی بز کرکی راینی با استفاده از الگوریتم IC، صفت تعداد کل بزغاله متولد شده از هر بز مولد بر صفات تعداد کل بزغاله شیرگیری شده و مجموع وزن کل بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد کرکی راینی تأثیر علی مستقیمی دارد. به علاوه صفت تعداد کل بزغاله متولد شده از هر بز مولد تأثیر علی مستقیمی بر صفت مجموع وزن کل بزغاله‌های شیرگیری شده از هر بز مولد کرکی راینی ندارد و تأثیر علی غیرمستقیم خود بر این صفت را از طریق صفات تعداد کل بزغاله شیرگیری شده و مجموع وزن کل بزغاله‌های متولد شده در طول عمر اعمال می‌کند.

مقایسه مدل‌های چندصفتی استاندارد و یک‌طرفه مبتنی بر معادلات ساختاری

مقادیر DIC حاصل از مقایسه تجزیه و تحلیل ژنتیکی تحت سه مدل چندصفتی در جدول ۲ ارائه شده اند. مقادیر DIC حاصل از مدل‌های مبتنی بر معادلات ساختاری، که روابط علی را نیز در بر دارند، کمتر از مدل چهار صفتی استاندارد می‌باشند. لذا، براساس معیار DIC مدل‌های در بردارنده روابط علی نسبت به مدل چندصفتی استاندارد برتری دارند. در بین دو مدل چهار

مشاهدات) تفکیک شدند. برآزش مدل‌ها در زیر مجموعه آموزش انجام شد و پیش‌بینی رکوردها و قابلیت پیش‌بینی مدل در زیر مجموعه آزمایش بررسی گردید. برای بررسی قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها از نرم‌افزار PREDICTF90 (Misztal *et al.*, 2002) استفاده گردید. میانگین مربعات خطا و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای محاسبه قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها حاصل میانگین گیری از پنج بار محاسبه این دو معیار در زیر مجموعه آزمایش‌ها می‌باشند. برای بررسی اثر مدل تجزیه و تحلیل ژنتیکی بر رتبه‌بندی افراد براساس ارزش اصلاحی، ابتدا ارزش‌های اصلاحی پیش‌بینی شده تحت مدل‌های مبتنی بر معادلات ساختاری با استفاده از رابطه (۵) به معادل استاندارد تبدیل شدند:

$$\mathbf{BV}^* = \mathbf{\Lambda}^{-1} \mathbf{B} \quad (۵)$$

در این رابطه، \mathbf{BV}^* و \mathbf{BV} به ترتیب بردار ارزش‌های اصلاحی معادل استاندارد و حاصل از مدل‌های معادلات ساختاری می‌باشند. همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین ارزش‌های اصلاحی افراد تحت مدل چندصفتی استاندارد و مدل چندصفتی مبتنی بر معادلات ساختاری به‌زای همه افراد، ۵۰ درصد برتر، ۱۰ درصد برتر و یک درصد برتر محاسبه گردیدند. به علاوه، تغییرات رتبه‌بندی ارزش اصلاحی ۱۰ فرد برتر شناخته شده برای هر کدام از صفات تحت مدل‌های چندصفتی استاندارد، نیز با رتبه آن‌ها تحت مدل‌های چندصفتی مبتنی بر معادلات ساختاری نیز بررسی شدند. پارامترهای ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی برآورد شده تحت مدل‌های مبتنی بر معادلات ساختاری پارامترهای سیستم^۱ می‌باشند که قابل مقایسه با پارامترهای حاصل از مدل‌های مختلط استاندارد نیستند (Gianola & Sorenson, 2004). با در نظر گرفتن فرض شناخته شده بودن ساختار علی، پارامترهای سیستم را می‌توان با استفاده از روابط زیر به معادل آن‌ها تحت مدل‌های چندصفتی استاندارد تبدیل کرد (Gianola & Sorenson, 2004):

$$\mathbf{G}^* = \mathbf{\Lambda}^{-1} \mathbf{G} \mathbf{\Lambda}'^{-1} \quad (۶)$$

^۱ - System parameters

بهتری از مدل چندصفتی یک طرفه مبتنی بر دانش پیشین داشت به گونه‌ای که در مورد کلیه صفات بررسی شده، تحت این مدل میانگین مربعات خطا کمتر و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده بیشتر بود. روند مشابهی در قابلیت پیش‌بینی مدل‌های به کاررفته در ارزیابی ژنتیکی صفات رشد گوسفند لری- بختیاری تحت مدل چندصفتی استاندارد و چندصفتی یک طرفه مشاهده گردیده است (Amou Posht-e Masari *et al.*, 2019).

جدول ۳. معیارهای قابلیت پیش‌بینی مدل‌های چندصفتی
Table 3. Predictive ability measures for the investigated multivariate models

Traits ^a	SMM ^b		PRM ^b		ICM ^b	
	MSE	r(y', y)	MSE	r(y', y)	MSE	r(y', y)
OLSB	2.72	0.21	2.48	0.23	2.17	0.23
OLSW	2.48	0.18	1.07	0.68	1.06	0.72
OLWB	17.23	0.21	2.40	0.92	2.33	0.92
OLWW	256.61	0.08	52.23	0.85	43.71	0.89

(a) OLSB: تعداد بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد، OLSW: تعداد بزغاله‌های شیرگیری شده از هر بز مولد، OLWB: مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد، OLWW: مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد.

(b) SMM = مدل چندصفتی استاندارد، PRM = مدل چندصفتی یک طرفه براساس دانش پیشین، ICM = مدل چندصفتی براساس الگوریتم جستجوی IC
a) OLSB= Overall litter size at birth, OLSW= Overall litter size at weaning, OLWB= Overall litter weight at birth, OLWW= Overall litter weight at weaning
b) SMM= Standard multivariate model, PRM= Recursive multivariate model based on prior knowledge, ICM= Recursive multivariate model based on IC algorithm

در بین مدل‌های چندصفتی بررسی شده، کمترین تغییرات میانگین مربعات خطا و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای صفت تعداد بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد حاصل شد. در هر دو ساختار علی در نظر گرفته شده، این صفت به عنوان صفت والد نسبت به دیگر صفات است و تحت تأثیر آن‌ها قرار نمی‌گیرد که چنین نتیجه‌ای را توجیه می‌کند. در پژوهشی دیگر روابط علی بین صفات گوساله‌زایی در گاوهای هلشتاین ایران طی زایش نخست شامل سخت‌زایی، وزن تولد گوساله و طول دوره آبستنی را با استفاده از الگوریتم IC شناسایی نمودند (Mokhtari *et al.*, 2018). در پژوهش این محققین، صفت سخت‌زایی به عنوان صفت والد دو صفت دیگر بود و دو معیار قابلیت پیش‌بینی شامل میانگین مربعات خطا و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده

صفتی مبتنی بر در نظر گرفتن روابط علی، مدل چهار صفتی یک طرفه براساس دانش پیشین نیز کمترین مقدار DIC را دارد که نسبت به دو مدل دیگر مطلوبیت بیشتری را نشان می‌دهد. بنابراین، این مدل به عنوان مناسب‌ترین مدل در بین مدل‌های مورد مطالعه می‌باشد. در پژوهشی با استفاده از داده‌های صفات رشد گوسفند لری-بختیاری با مطالعه روابط علی بین صفات رشد گوسفند لری- بختیاری به کمک مدل‌های معادلات ساختاری مطلوبیت مدل در برگزیده روابط علی نسبت به مدل چندصفتی استاندارد گزارش شده است (Amou Posht-e Masari *et al.*, 2018). در پژوهشی صفات اولیه رشد بز کرکی راینی شامل وزن‌های تولد، شیرگیری و شش ماهگی تحت مدل چندصفتی استاندارد و مدل چندصفتی یک طرفه کامل تجزیه و تحلیل شدند و برتری مدل چندصفتی یک طرفه کامل از حیث کمتر بودن DIC بر مدل چندصفتی استاندارد گزارش شده است (Mokhtari *et al.*, 2018).

جدول ۲. معیار انحراف اطلاعات تحت مدل‌های چندصفتی مختلف

Table 2. Deviance information criterion (DIC) under the investigated multivariate models

Model ^a	DIC
SMM	10308.0215
PRM	8823.1342
ICM	8345.2278

(a) SMM = مدل چندصفتی استاندارد، PRM = مدل چندصفتی یک طرفه براساس دانش پیشین، ICM = مدل چندصفتی براساس الگوریتم جستجوی IC
a) SMM= Standard multivariate model, PRM= Recursive multivariate model based on prior knowledge, ICM= Recursive multivariate model based on IC algorithm

نتایج حاصل از مقایسه قابلیت پیش‌بینی مدل‌های بررسی شده با دو معیار میانگین مربعات خطا و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل در جدول ۳ ارائه شده است. در مورد کلیه صفات بررسی شده، در مقایسه با مدل‌های در بردارنده روابط علی، تحت مدل چندصفتی استاندارد میانگین مربعات خطا بیشترین و همبستگی پیرسون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده کمترین بود. در بین مدل‌های چندصفتی در برگزیده روابط علی بین صفات مدل چندصفتی یک طرفه با الگوریتم IC قابلیت پیش‌بینی

سخت‌زایی تحت مدل سه صفتی استاندارد و مدل یک‌طرفه مبتنی بر IC تفاوتی با هم نداشتند. با در نظر گرفتن معیارهای مقایسه مدل‌های چندصفتی در نظر گرفته شده برای ارزیابی ژنتیکی صفات تولیدمثلی در طول عمر بز کرکی راینی، مدل چندصفتی یک‌طرفه با الگوریتم IC مناسب‌ترین مدل برای ارزیابی ژنتیکی این صفات تشخیص داده شد و برای استنباط روابط علی بین این صفات و برآورد پارامترهای ژنتیکی آنها به کار رفت.

میانگین پسین ضرایب ساختاری

میانگین‌های پسین ضرایب ساختاری بین صفات با فاصله ۹۹ درصد اطمینان بیشترین چگالی پسین، برآورد شده تحت مدل چندصفتی یک‌طرفه با الگوریتم IC در جدول ۴ ارائه شده‌اند. همه ضرایب ساختاری از لحاظ آماری معنی‌دار بودند (فاصله اطمینان ۹۹، درصد صفر را شامل نمی‌شد).

جدول ۴. میانگین پسین ضرایب ساختاری بین صفات تولیدمثلی در طول عمر بز کرکی راینی

Table 4. Posterior means for structural coefficients among lifetime reproductive traits in Raeini Cashmere goat

Causal relationship ^a	Posterior mean± PSD	99% HPD interval
OLSB → OLSW	0.65 ± 0.05	0.52 - 0.78
OLSB → OLWB	2.40 ± 0.06	2.25 - 2.55
OLSW → OLWW	8.04 ± 0.40	7.01 - 9.07
OLWB → OLWW	0.43 ± 0.11	0.17 - 0.69

OLSB (a): تعداد بزغاله‌های متولدشده از هر بز مولد، OLSW: تعداد بزغاله‌های شیرگیری‌شده از هر بز مولد، OLWB: مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد، OLWW: مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد.

a) OLSB= Overall litter size at birth, OLSW= Overall litter size at weaning, OLWB= Overall litter weight at birth, OLWW= Overall litter weight at weaning.

همبستگی رتبه‌ای بین ارزش‌های اصلاحی اثر در نظر گرفتن روابط علی بین صفات بر رتبه‌بندی حیوانات براساس ارزش اصلاحی آنها به‌ازای همه حیوانات، ۵۰، ۱۰ و ۱ درصد برتر در جدول ۵ ارائه شده است. با در نظر گرفتن درصد کمتری از افراد برتر همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین میانگین‌های پسین ارزش‌های اصلاحی افراد کمتر می‌شود. به صورتی که در مورد صفات تعداد بزغاله‌های شیرگیری‌شده، مجموع وزن تولد بزغاله‌ها و مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز

میانگین پسین ضرایب ساختاری

میانگین‌های پسین ضرایب ساختاری بین صفات با فاصله ۹۹ درصد اطمینان بیشترین چگالی پسین، برآورد شده تحت مدل چندصفتی یک‌طرفه با الگوریتم IC در جدول ۴ ارائه شده‌اند. همه ضرایب ساختاری از لحاظ آماری معنی‌دار بودند (فاصله اطمینان ۹۹، درصد صفر را شامل نمی‌شد).

جدول ۴. میانگین پسین ضرایب ساختاری بین صفات تولیدمثلی در طول عمر بز کرکی راینی

Table 4. Posterior means for structural coefficients among lifetime reproductive traits in Raeini Cashmere goat

Causal relationship ^a	Posterior mean± PSD	99% HPD interval
OLSB → OLSW	0.65 ± 0.05	0.52 - 0.78
OLSB → OLWB	2.40 ± 0.06	2.25 - 2.55
OLSW → OLWW	8.04 ± 0.40	7.01 - 9.07
OLWB → OLWW	0.43 ± 0.11	0.17 - 0.69

OLSB (a): تعداد بزغاله‌های متولدشده از هر بز مولد، OLSW: تعداد بزغاله‌های شیرگیری‌شده از هر بز مولد، OLWB: مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد، OLWW: مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد.

a) OLSB= Overall litter size at birth, OLSW= Overall litter size at weaning, OLWB= Overall litter weight at birth, OLWW= Overall litter weight at weaning.

صفت تعداد بزغاله‌های متولدشده در طول عمر بر دو صفت تعداد بزغاله‌های شیرگیری‌شده در طول عمر و مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد اثر علی مستقیمی داشت به گونه‌ای که به‌ازای افزایش هر واحد تعداد بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد، تعداد بزغاله‌های شیرگیری‌شده و مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد به ترتیب ۰/۶۵ و ۲/۴ کیلوگرم افزایش یافت. اثرات علی مستقیم تعداد بزغاله‌های شیرگیری‌شده از هر بز مولد و مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد بر مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد به ترتیب

همبستگی رتبه‌ای بین ارزش‌های اصلاحی

اثر در نظر گرفتن روابط علی بین صفات بر رتبه‌بندی حیوانات براساس ارزش اصلاحی آنها به‌ازای همه حیوانات، ۵۰، ۱۰ و ۱ درصد برتر در جدول ۵ ارائه شده است. با در نظر گرفتن درصد کمتری از افراد برتر همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین میانگین‌های پسین ارزش‌های اصلاحی افراد کمتر می‌شود. به صورتی که در مورد صفات تعداد بزغاله‌های شیرگیری‌شده، مجموع وزن تولد بزغاله‌ها و مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز

جدول ۵. همبستگی رتبه‌ای بین میانگین پسین ارزش‌های اصلاحی تحت مدل چندصفتی استاندارد و چندصفتی

براساس الگوریتم IC

Table 5. Rank correlations between poster means of breeding values under standard and IC-based multivariate models

Traits ^a	All animals	50% top-ranked	10% top-ranked	1% top-ranked
OLSB	0.95**	0.88**	0.72**	0.64**
OLSW	0.89**	0.78**	0.51**	0.17 ^{ns}
OLWB	0.96**	0.89**	0.79**	0.11 ^{ns}
OLWW	0.88**	0.76**	0.46*	0.10 ^{ns}

(a) OLSB= تعداد بزغاله‌های متولدشده از هر بز مولد، OLSW= تعداد بزغاله‌های شیرگیری‌شده از هر بز مولد، OLWB= مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد، OLWW= مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد.

a) OLSB= Overall litter size at birth, OLSW= Overall litter size at weaning, OLWB= Overall litter weight at birth, OLWW= Overall litter weight at weaning.

پارامترهای ژنتیکی

وراثت‌پذیری‌ها، همبستگی‌های ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی بین صفات تولیدمثلی مورد بررسی در بز کرکی راینی در جدول ۶ ارائه شده‌اند. لازم به ذکر است که پارامترهای ژنتیکی به‌دست آمده تحت مدل چندصفتی براساس الگوریتم IC به معادل استاندارد تبدیل شده‌اند. مقادیر وراثت‌پذیری‌های صفات متوسط تا زیاد برآورد شدند و از ۰/۲۰ برای تعداد بزغاله‌های متولد شده در طول عمر تا ۰/۴۲ برای مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد متغیر بودند. به‌طور کلی، صفات مرتبط با عملکرد شیرگیری وراثت‌پذیری بیشتری از صفات مرتبط با عملکرد تولد داشتند. این نتایج می‌تواند به افزایش بروز نقش آثار ژنتیکی افزایشی در عملکرد تولیدمثلی بزهای کرکی راینی در زمان شیرگیری بزغاله‌هایشان مربوط باشد.

مولد با در نظر گرفتن ۱ درصد افراد برتر ضریب همبستگی اسپیرمن بین میانگین‌های پسین ارزش اصلاحی افراد تحت دو مدل چندصفتی استاندارد و چندصفتی براساس الگوریتم IC از لحاظ آماری غیرمعنی‌دار است. این نتیجه نشان‌دهنده تغییر رتبه شدید افراد تحت دو مدل بررسی شده می‌باشد. با در نظر گرفتن همه افراد، ۵۰ و ۱۰ درصد برتر همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین ارزش‌های اصلاحی افراد برای صفات تولیدمثلی مرتبط با عملکرد شیرگیری کمتر بود که نشان می‌دهد تأثیرپذیری رتبه افراد از در نظر گرفتن روابط علی بین صفات بررسی‌شده برای صفات مرتبط با عملکرد شیرگیری، به‌ویژه مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد، بیشتر است. نتایج فوق بر لزوم در نظر گرفتن روابط علی برای حصول رتبه‌بندی صحیح حیوانات براساس ارزش‌های اصلاحی آنها دلالت دارد. در پژوهشی در نظر گرفتن اثر روابط علی بین صفات رشد در گوسفند لری-بختیاری بر رتبه‌بندی افراد براساس ارزش اصلاحی آنها بررسی شد (Amou Posht-e Masari et al., 2019). نتایج حاصل نشان داد که در نظر نگرفتن وجود روابط علی بین صفات موجب رتبه‌بندی نادرست افراد براساس ارزش اصلاحی آنها می‌شود که با نتایج حاصل از پژوهش کنونی مطابقت دارد. در پژوهش دیگری روابط علی بین صفات مرتبط با اختلالات سم و تولید شیر بررسی شد و تغییر رتبه‌بندی دام‌های برتر تحت مدل چندصفتی استاندارد و مدل چندصفتی یک‌طرفه به‌دست آمد (Konig et al., 2008) که با پژوهش کنونی مطابقت دارد.

جدول ۶. وراثت‌پذیری (اعداد روی قطر)، همبستگی‌های ژنتیکی (بالای قطر)، همبستگی‌های فنوتیپی (پایین قطر) و همبستگی‌های

محیطی (درون پرانتز) بین صفات تولیدمثلی بز کرکی راینی

Table 6. Heritability (on diagonal), genetic (above diagonal), phenotypic (below diagonal) and environmental (in the parenthesis) correlation estimates for reproductive traits of Raeini Cashmere goat

Traits ^a	OLSB	OLSW	OLWB	OLWW
OLSB	0.20 ± 0.06	0.82 ± 0.09	0.95 ± 0.02	0.70 ± 0.15
OLSW	0.78 ± 0.02 (0.73 ± 0.02)	0.37 ± 0.07	0.94 ± 0.03	0.92 ± 0.04
OLWB	0.93 ± 0.01 (0.93 ± 0.01)	0.91 ± 0.01 (0.73 ± 0.02)	0.24 ± 0.05	0.82 ± 0.09
OLWW	0.69 ± 0.03 (0.72 ± 0.01)	0.88 ± 0.02 (0.86 ± 0.01)	0.72 ± 0.03 (0.69 ± 0.02)	0.42 ± 0.05

(a) OLSB= تعداد بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد، OLSW= تعداد بزغاله‌های شیرگیری‌شده از هر بز مولد، OLWB= مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد، OLWW= مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد.

a) OLSB= Overall litter size at birth, OLSW= Overall litter size at weaning, OLWB= Overall litter weight at birth, OLWW= Overall litter weight at weaning.

مدل‌های چندصفتی استاندارد و یک‌طرفه مبتنی بر دانش پیشین برای توصیف روابط زیستی بین صفات تولیدمثلی بز کرکی راینی مناسب‌تر است. براساس ساختار شناسایی‌شده با الگوریتم IC از طرف صفت تعداد بزغاله متولدشده از هر بز مولد کرکی راینی به‌عنوان صفت والد بر صفات تعداد بزغاله شیرگیری‌شده و مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد تأثیر علی مستقیمی اعمال می‌گردد. به‌طوریکه تأثیر علی غیر مستقیم این صفت بر مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد از طریق صفات مذکور واسطه‌گری می‌شود. علاوه بر این، در نظر نگرفتن روابط علی بین صفات سبب رتبه‌بندی نادرست افراد براساس ارزش اصلاحی آنها می‌شود. به‌طورکلی، نتایج حاصل از پژوهش کنونی لزوم در نظر گرفتن روابط علی بین صفات تولیدمثلی بز کرکی راینی را جهت انجام ارزیابی ژنتیکی صحیح این صفات و رتبه‌بندی صحیح حیوانات را نشان داد.

سپاسگزاری

از مرکز اصلاح نژاد و پرورش بز کرکی راینی و سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های موردنیاز، تشکر و قدردانی می‌گردد.

وراثت‌پذیری گزارش‌شده برای مجموع وزن بره‌های متولد شده و شیرگیری‌شده در طول عمر هر راس میش ماکوپی به‌ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۰۹ بود که کمتر از مقادیر متناظر برآورد شده در پژوهش کنونی می‌باشند (Jafari & Manafiazar, 2016).

مقادیر همبستگی‌های ژنتیکی بین صفات (اعداد بالای قطر در جدول ۶) مثبت و زیاد برآورد شدند. به‌طوری‌که از ۰/۷۰ بین تعداد بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد و مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد تا ۰/۹۵ بین تعداد بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد و مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد متغیر بودند. الگوی مشابهی در مورد همبستگی‌های فنوتیپی بین صفات نیز مشاهده شد به گونه‌ای که همبستگی فنوتیپی بین تعداد بزغاله‌های متولدشده از هر بز مولد و مجموع وزن شیرگیری بزغاله‌ها از هر بز مولد ۰/۶۹ و بین تعداد بزغاله‌های متولد شده از هر بز مولد و مجموع وزن تولد بزغاله‌ها از هر بز مولد ۰/۹۳ برآورد شدند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از پژوهش کنونی نشان دادند که مدل چندصفتی یک‌طرفه مبتنی بر الگوریتم IC نسبت به

REFERENCES

1. Amou Posht-e Masari, H., Hafezian, S.H., Abdollahi-Arpanahi, R., Mokhtari, M.S. & Rahimi Mianji, G. (2018). Estimation of genetic parameters and genetic trends for growth traits in Lori Bakhtiari sheep using structural equation models. *Animal Production Research*, 7(2), 83-96. (in Farsi)
2. Amou Posht-e Masari, H., Hafezian, S.H., Abdollahi-Arpanahi, R., Mokhtari, M.S., Rahimi Mianji, Gh. & Taheri Yeganeh, A. (2019). The comparison of alternative models for genetic evaluation of growth traits in Lori-Bakhtiari sheep: implications on predictive ability and ranking of animals. *Small Ruminant Research*, 173, 59-64.
3. Gianola, D. & Sorensen, D. (2004). Quantitative genetic models for describing simultaneous and recursive relationships between phenotypes. *Genetics*, 167, 1407-1424.
4. Jafari, S. & Manafiazar, G. (2016). Estimates of genetic parameters for lifetime reproductive performance traits in Makuei ewes. *Small Ruminant Research*, 139, 67-72.
5. Konig, S., Wu, X.L., Gianola, D., Heringstad, B. & Simianer, H. (2008). Exploration of relationships between claw disorders and milk yield in Holstein cows via recursive linear and threshold models. *Journal of Dairy Science*, 91, 395-406.
6. Kosgey, I.S. & Okeyo, A.M. (2007). Genetic improvement of small ruminants in low-input, smallholder production systems: technical and infrastructural issues. *Small Ruminant Research*, 70, 76-88.
7. Maghsoudi, A., Vaez Torshizi, R. & Safi Jahanshahi, A. (2009). Estimates of (co)variance components for productive and composite reproductive traits in Iranian Cashmere goats. *Livestock Science*, 126, 162-167.
8. Matos, C.A., Thomas, D.L., Gianola, D., Tempelman, R.J. & Young, L.D. (1997). Genetic analysis of discrete traits in sheep using linear and nonlinear models: I. Estimation of genetic parameters. *Journal of Animal Science*, 75, 76-87.

9. Menezes, L.M., Sousa, W.H., Cavalcanti-Filho, E.P. & Gama, L.T. (2016). Genetic parameters for reproduction and growth traits in Boer goats in Brazil. *Small Ruminant Research*, 136, 247-256.
10. 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.
11. Mohammadi, H., Moradi Sharebabak, M. & Moradi Sharebabak, H. (2012). Genetic parameter estimates for growth traits and prolificacy in Raeini Cashmere goats. *Tropical Animal Health and Production*, 44, 1213-1220.
12. Mokhtari, M.S., Moradi Shahrabak, M., Nejati Javaremi, A. & Rosa, G.J.M. (2018). Searching causal structure among calving traits in first-parity Holstein cattle of Iran. *Iranian Journal of Animal Science*, 49, 1-9. (in Farsi)
13. Mokhtari, M.S., Moghbeli Damaneh, M. & Abdollahi Arpanahi, R. (2018). The application of recursive multivariate model for genetic evaluation of early growth traits in Raeini Cashmere goat: A comparison with standard multivariate model. *Small Ruminant Research*, 165, 54-61.
14. 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.
15. Sorensen, D.A. & Gianola, D. (2002). *Likelihood, Bayesian and MCMC methods in quantitative genetics*. Springer-Verlag, New York.
16. 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.