Vol 26, No. 3, Autumn 2024

University of Tehran Press

Journal of Animal Production

Online ISSN: 2382-994X

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

Estimation of variance components for sport performance traits in Iranian jumping horses using Bayesian approach

Moein Taned[1,5] |Mohammad Bagher Zandi[2,5]✉ | Morad Pasha EskandariNasab[3] | Mohammad Abdoli[4,5]

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: moein.taned@znu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: mbzandi@znu.ac.ir
3. Department of AnimalScience, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: eskandarinasab_M@znu.ac.ir
4. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: m.abdoli@znu.ac.ir
5. Equine Research Group, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: moein.taned@znu.ac.ir, mbzandi@znu.ac.ir, m.abdoli@znu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 4 March 2024
Received in revised form
18 August 2024
Accepted 19 August 2024
Published online 30 September 2024

Keywords:
Bayesian
Breeding value
Heritability
Reliability
Sport horses

ABSTRACT

Introduction: Accurate estimation of genetic and phenotypic variance enhances the selection of superior horses and serves as a valuable tool for the long-term improvement of the sport horse population. Therefore, this study was conducted to estimate the variance components for performance traits of sport horses using the Bayesian method.

Materials and Methods: A database was created using 49,026 records from 1499 horses collected between 2017 and 2020 from the Iranian Equestrian Federation. The sport performance traits examined were race completion time (RCT), number of errors in competition (NEC), and rank at the end of the competition (REC). Analysis of variance and Duncan's multiple comparison tests were used to determine the significance of environmental effects, and genetic parameters were estimated using a Gibbs sampling method. R software was utilized to evaluate environmental effects, fit the model, and estimate reliability, variance components, heritability, and genetic correlations, with the GIBBS1F90 and THRGIBBS1F90 software used for estimation. The statistical model included fixed effects for birth year, sex, age, breed, height of obstacles, and level of difficulty of the event, as well as random effects for rider, date, city of competition, and additive genetic effect.

Results and Discussion: Heritability (h2) was estimated using single-trait and multi-trait models for the traits RCT, NEC, and REC, respectively, as 0.02 and 0.08, 0.13 and 0.23, 0.16 and 0.29. The estimated genetic correlations between the traits RCT and NEC, RCT and REC, and NEC and REC were 0.38, 0.36, and 0.65, respectively. The mean estimated reliability (r2) using single-trait and multi-trait models for the traits RCT, NEC, and REC were 0.60 and 0.69, 0.62 and 0.73, 0.58 and 0.66, respectively. The heritability values of different traits can vary, and a specific trait may exhibit different levels of heritability across various populations. The estimated heritability of RCT, NEC, and REC fell within the range of values reported in various horse populations and it was <0.01–0.41, 0.07–0.38, and 0.02–0.23, respectively. These estimates demonstrate genetic variation in the traits within the study population, and their alignment with other studies increases confidence in the estimated values.

Conclusion: The results of the present study indicated that the heritability of the traits studied was low. Among the performance traits, REC showed the highest heritability. Due to its positive genetic correlation with RCT and NEC, selecting for REC could potentially improve the other traits as well. These findings emphasize the importance of using multi-trait models in breeding programs, as they can provide more accurate heritability estimates and enhance the precision and reliability of breeding value predictions.

Cite this article: Taned, M., Bagher Zandi, M., EskandariNasab, M.P., & Abdoli, M. (2024). Estimation of variance components for sport performance traits in Iranian jumping horses using Bayesian approach. *Journal of Animal Production*, 26 (3), 233-248. DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2024.373545.623785

© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2024.373545.623785

دوره بیست و ششم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

تولیدات دامی

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۲-۹۹۴x

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

برآورد مؤلفه‌های واریانس صفات عملکردی اسب‌های پرشی ایران با استفاده از روش بیزی

معین تاند [۱و۵] | محمد باقر زندی [۲و۵] ✉ | مرادپاشا اسکندری نسب [۳] | محمد عبدلی [۴و۵]

۱. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: moein.taned@znu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: mbzandi@znu.ac.ir

۳. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: eskandarinasab_M@znu.ac.ir

۴. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: m.abdoli@znu.ac.ir

۵. گروه پژوهشی اسب دانشگاه زنجان، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران. moein.taned@znu.ac.ir ،mbzandi@znu.ac.ir ،m.abdoli@znu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

کلیدواژه‌ها:

ارزش اصلاحی

اسب‌های ورزشی

بیزین

قابلیت اعتماد

وراثت‌پذیری

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی خصوصیات ژنتیکی و فنوتیپی مرتبط با صفات عملکردی در اسب‌های پرشی ایران شامل زمان پایان مسابقه (RCT) و تعداد خطاهای اسب در مسابقه (NEC) و رتبه در پایان مسابقه (REC) انجام شد. به‌منظور برآورد مؤلفه‌های واریانس، وراثت‌پذیری و همبستگی ژنتیکی نرم‌افزارهای GIBBS1F90 و THRGIBBS1F90 استفاده شد. وراثت‌پذیری (h^2) با استفاده از مدل تک‌صفتی و چندصفتی برای صفات RCT، NEC و REC به‌ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۰۸، ۰/۱۳ و ۰/۲۳، ۰/۱۶ و ۰/۲۹ برآورد شد. همبستگی ژنتیکی بین صفات RCT و NEC، RCT و NEC و هم‌چنین NEC و REC به‌ترتیب ۰/۳۸، ۰/۳۶ و ۰/۶۵ برآورد شد. میانگین قابلیت اعتماد برآوردشده (r^2) با استفاده از مدل تک‌صفتی و چندصفتی برای صفات RCT، NEC و REC به‌ترتیب۰/۶۰ و ۰/۶۹، ۰/۶۲ و ۰/۷۳، ۰/۵۸ و ۰/۶۶ بود. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که صفات موردبررسی وراثت‌پذیری پایینی دارند. از بین صفات عملکردی صفت REC دارای بیش‌ترین وراثت‌پذیری بوده و ازآنجاکه این صفت با صفات RCT و NEC دارای همبستگی ژنتیکی مثبت است، انتخاب براساس این صفت موجب پیشرفت در صفات دیگر نیز می‌شود. نتایج حاصل از مطالعه حاضر اهمیت استفاده از مدل‌های چندصفتی در برنامه‌های اصلاح نژاد را برجسته می‌کنند زیرا استفاده از این مدل‌ها می‌تواند منجر به برآوردهای دقیق‌تری از وراثت‌پذیری و بهبود دقت و قابلیت اعتماد در تخمین ارزش‌های ارثی شود.

استناد: تاند، معین؛ زندی، محمد باقر، اسکندری نسب، مرادپاشا و عبدلی، محمد (۱۴۰۳). برآورد مؤلفه‌های واریانس صفات عملکردی اسب‌های پرشی ایران با استفاده از روش بیزی. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۶ (۳)، ۲۳۳-۲۴۸. DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2024.373545.623785

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

آغاز اهلی‌سازی اسب‌ها احتمالاً بیش از ۵۰۰۰ سال پیش در قسمت غربی استپ اوراسیا آغاز شد (Nishita *et al*., 2023). در جهان بیش از ۶۰ میلیون راس اسب در قالب بیش از ۵۰۰ نژاد مختلف وجود دارد که برای مقاصد مختلف پرورش داده می‌شود. اگرچه که با پیشرفت تکنولوژی استفاده از اسب‌ها در حمل و نقل کاهش چشم‌گیری داشته است اما آن‌ها به‌طور گسترده برای سرگرمی، ورزش و تفریح مورداستفاده قرار می‌گیرند (FAO, 2023). انتخاب حیوانات مولد از اهمیت بالایی برخوردار است، به همین خاطر اسب‌هایی که جمعیت والدین نسل بعد را تشکیل می‌دهند باید براساس بالاترین ارزش ژنتیکی انتخاب شوند. بدین منظور برای برآورد ارزش اصلاحی با صحت بالا استفاده از مقادیر فنوتیپی قابل اعتماد و تعیین صحیح عوامل محیطی مؤثر بر صفات عملکردی ضروری است (Klecel *et al*., 2021). هم‌چنین مشخص شده است که روش آماری مورداستفاده به‌طور قابل‌توجهی بر قابل اعتمادبودن نتایج تأثیر می‌گذارد (ABACI *et al*., 2019). روش‌های آماری انتخاب‌شده باید تمامی عوامل محیطی مهم را در تحلیل در نظر بگیرند و هم‌چنین باید خطای آزمایشی را به حداقل برسانند (Sahin *et al*., 2018). از جمله قوی‌ترین و پرکاربردترین این روش‌ها، روش‌های آماری بیزی[1] و حداکثر درست‌نمایی محدودشده[2] می‌باشند. در روش REML، فرض اصلی این است که نمونه‌ها از یک جامعه‌ای با توزیع نرمال به‌دست می‌آیند. این روش برای تصحیح اثر انتخاب در جامعه استفاده می‌شود و واریانس‌ها را از طریق تکرار و همگرایی محاسبه می‌کند (Grantham *et al*., 2022). در روش بیزی، برآورد یک پارامتر از طریق توزیع پسین انجام می‌شود و در بیش‌تر مواقع امکان محاسبه مستقیم میانگین توزیع پسین وجود ندارد. بنابراین، نمونه‌هایی با ویژگی‌های مستقل و یکسان از توزیع پسین تولید می‌شوند. این نمونه‌ها زمانی که راه‌حل‌های تحلیلی مستقیم در دسترس نباشد به‌منظور تقریب توزیع پسین استفاده می‌شوند (Nolan *et al*., 2021). بسیاری از پژوهش‌گران از روش‌های بیزی برای ارزیابی پارامترهای ژنتیکی برای صفات مختلف، از جمله موارد مرتبط با اصلاح نژاد حیوانات استفاده کرده‌اند (Próchniak *et al*., 2019; Schubertová *et al*., 2016). تخمین دقیق واریانس ژنتیکی و فنوتیپی باعث می‌شود که انتخاب اسب‌های برتر، بهبود یابد و به‌عنوان یک ابزار ارزشمند در بهبود جمعیت اسب‌های ورزشی به‌صورت طولانی‌مدت استفاده شود. به همین دلیل، این مطالعه به‌منظور برآورد مؤلفه‌های واریانس برای صفات عملکردی اسب‌های ورزشی با استفاده از روش بیزی اجرا شد.

۲. پیشینه پژوهش

مطالعات متعددی در زمینه برآورد پارامترهای ژنتیکی صفات مختلف اقتصادی در اسب صورت گرفته است. روش‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی برای ارزیابی پارامترهای ژنتیکی صفات عملکردی اسب‌های پرشی وجود دارد که بسته به هدف و دانش پژوهش‌گر مورداستفاده قرار می‌گیرند که می‌توان به روش‌های REML و بیزین و نرم‌افزارهای ASReml، Wombat، BLUPf90، MTDFREML و غیره اشاره کرد (تاند و همکاران، ۱۴۰۱). صفت زمان در اتمام مسابقه، مدت زمانی است که سوارکار مسیر مسابقه را طی می‌کند که به ثانیه و صدم ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. این زمان از لحظه‌ای که سوارکار سوار بر اسب خط شروع را در جهت صحیح پس از شنیدن صدای زنگ قطع کند، آغاز شده تا زمانی‌که سوارکار پس از پرش از مانع آخر، خط پایان را سوار بر اسب در جهت صحیح قطع کند ادامه پیدا می‌کند. وراثت‌پذیری

1. Bayesian
2. Restricted maximum likelihood method

برای صفت زمان به‌وسیله پژوهش‌گران مختلف در تحقیقات متفاوت از ۰/۰۶ الی ۰/۴۶ گزارش شده است (Bailey *et al*., 2022; Cervantes *et al*., 2020; Faria *et al*., 2023; Velie *et al*., 2015a).

در طی مسابقات پرش هر اسب ممکن است نمرات خطا کسب کند. از جمله اقداماتی که منجر به دریافت نمره خطا می‌شود می‌توان به انداختن مانع، تماس پای اسب با نوار سفید آب، نافرمانی‌ها (مانند کپ کردن، فرار یا مقاومت)، انحراف از مسیر، افتادن اسب یا شرکت‌کننده، کمک غیرمجازو تجاوز از زمان مجاز اشاره کرد. برای مثال، هرگونه برخورد با مانع یا نوار سفید منجر به چهار نمره خطا می‌شود. هم‌چنین، در صورت وقوع نافرمانی دوم، شرکت‌کننده حذف می‌شود (FEI, 2024). با استفاده از روش‌های آماری مختلف و نرم‌افزارهای متفاوت مقادیر متفاوتی از وراثت‌پذیری برای صفت تعداد خطای اسب از ۰/۰۷ الی ۰/۳۸ گزارش شده است (Novotná *et al*., 2014; Próchniak *et al*., 2015; Schubertová *et al*., 2016).

رتبه‌بندی در مسابقه یکی از رایج‌ترین صفات برای ارزیابی ژنتیکی اسب‌های ورزشی و مسابقه‌ای است (Chapard *et al*., 2023) اسبی در مسابقات پرش اسب بهترین رتبه را کسب می‌کند که کم‌ترین امتیازات خطا و کم‌ترین زمان را کسب کرده باشد (Próchniak *et al*., 2015). پژوهش‌های متعددی که پارامترهای ژنتیکی را برای صفات عملکردی اسب‌های ورزشی برآورد کرده‌اند وراثت‌پذیری برای صفت رتبه در پایان مسابقه را از ۰/۰۲ الی ۰/۲۳ گزارش کرده‌اند (García-Ballesteros *et al*., 2018; Jönsson *et al*., 2016; Mezei *et al*., 2015; Próchniak *et al*., 2015, 2019; Solé *et al*., 2017).

وجود همبستگی ژنتیکی مثبت بین صفات مختلف حاکی از آن است که بهبود یک صفت بر دیگری اثر مثبت خواهد داشت که نشان‌دهنده رابطه عملکردی بین آنهاست. در مطالعه پروچیناک و همکاران (۲۰۱۵) همبستگی ژنتیکی بین صفات خطا و رتبه ۰/۴۶ الی ۰/۸۲ گزارش شده است. یکی از روش‌های رایج جهت بهبود ژنتیکی اسب‌های ورزشی درکشورهای دارای برنامه‌های اصلاحی پیشرفته پیش‌بینی ارزش ارثی با استفاده از روش BLUP است. ارزش ارثی در اسب‌های ورزشی با استفاده از آزمون‌های عملکردی و نتایج مسابقات ورزشی تعیین می‌شود (نواتنا و همکاران، ۲۰۱۵). اسچوبرتورا و همکاران (۲۰۱۶) میانگین قابلیت اعتماد EBVs را برای صفات خطا و رتبه به‌ترتیب ۰/۳۴ (صفر تا ۰/۸۳) و ۰/۲۵ (صفر تا ۰/۷۳) برآورد کردند. در مطالعه‌ای که توسط جانسون و همکاران (۲۰۱۶) انجام شده است قابلیت اعتماد EBVs برای صفت رتبه ۰/۴۵ گزارش شده است.

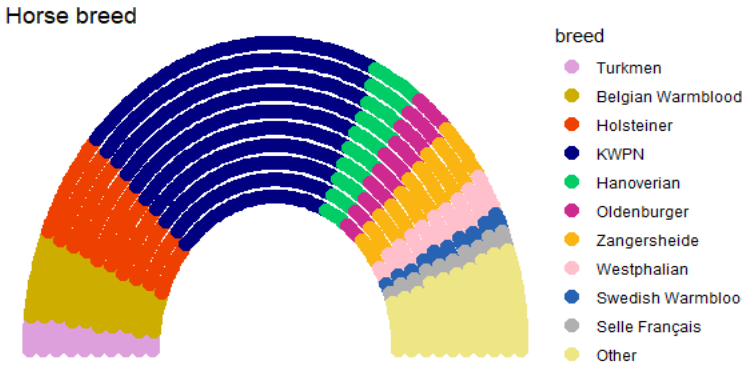
۳. روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش از نتایج مسابقاتی که در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ به‌وسیله فدراسیون سوارکاری جمهوری اسلامی ایران گردآوری شده بود، برای برآورد پارامترهای ژنتیکی استفاده شد. این نتایج از ۴۹۰۲۶ رکورد تشکیل شده بود که به ۱۴۹۹ اسب (۵۶۱ نر، ۶۵۹ ماده و ۲۸۱ اخته) تعلق داشتند. تعداد مشاهدات استفاده‌شده در برآورد پارامترهای ژنتیکی در جدول (۱) نشان داده شده است. رکوردهای مورداستفاده در پژوهش حاضر به نژادهای مختلفی از جمله ترکمن (۳/۷۴ درصد)، بلژین وارم بلاد (۸/۶۱ درصد)، هلشتاین (۱۱/۶۲ درصد)، KWPN (۳۹/۲۵ درصد)، هانورین (۶/۰۷ درصد)، الدنبرگ (۴/۸۷ درصد)، زانگرشیده (۶/۴۸ درصد)، وستفالین (۴/۴۱ درصد)، سودیش وارم بلاد (۱/۸۰ درصد)، سل فرانس (۲/۱۴ درصد) و دیگر نژادها (۱۱/۰۱ درصد) اختصاص و نتایج آن در شکل (۱) ارائه شده است از بین نژادهای موردبررسی در این مطالعه نژاد KWPN دارای بیش‌ترین رکورد بود. صفات موردمطالعه شامل زمان اتمام مسابقه، تعداد خطاهای اسب در مسابقه و رتبه در پایان مسابقه بودند. در ویرایش داده، رکوردهای خارج از دامنه معمول (بیش‌تر یا کم‌تر از میانگین و سه برابر انحراف معیار) و اسب‌هایی که کم‌تر از پنج رکورد داشتند، حذف شدند. سپس، اثرات محیطی موردبررسی قرار گرفتند و مدل مناسب برای هر یک از صفات انتخاب شد. در این پژوهش، از روش تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین دانکن برای ارزیابی معنی‌داری تأثیرات محیطی

استفاده شد. تمامی مراحل ویرایش داده، بررسی معنی‌داری اثرات محیطی و برازش مدل با استفاده از نرم‌افزارهای R (نسخه ۴/۲/۲) و Excel (نسخه ۲۰۱۶) انجام شد. آماره‌های میانگین، انحراف معیار، حداقل، حداکثر و ضریب تغییرات مربوط به صفات عملکردی پرش اسب‌های ورزشی در Error! Reference source not found. جدول (۱) نمایش داده شده است.

جدول ۱. آماره‌های توصیفی صفات عملکردی پرش اسب‌های ورزشی

صفت	واحد	تعداد رکورد	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات
زمان اتمام مسابقه	ثانیه	۴۱۳۱۰	۶۰/۷۰	۱۸/۵۱	۱۶/۲۲	۱۲۰/۷۹	۳۰/۴۹
تعداد خطاهای اسب در مسابقه	امتیاز	۴۵۴۸۶	۴/۰۶	۳/۵۲	۰	۱۳	۸۶/۶۹
رتبه در پایان مسابقه	امتیاز	۳۵۲۷۵	۲۴/۳۵	۱۷/۷۰	۱	۸۰	۷۲/۷۲



شکل ۱. ترکیب نژادی اسب‌های ورزشی دارای رکورد عملکردی پرش

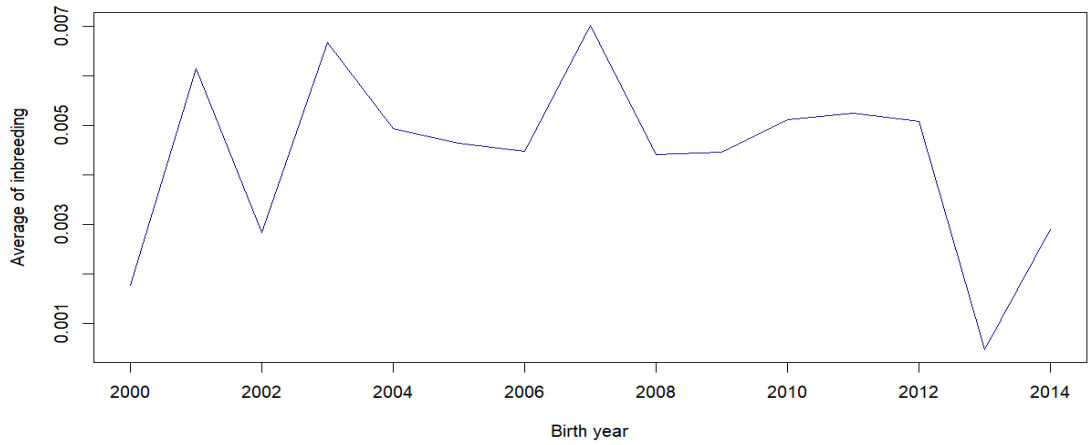
فایل شجره با ترکیب اطلاعات انساب اسب‌های ثبت‌شده در معاونت فنی فدراسیون سوارکاری ایران و فدراسیون دیگر کشورهای خارجی و انجمن‌های مرتبط با اسب‌های ورزشی ایجاد و تکمیل شد. پس از مرتب‌کردن اطلاعات شجره در نرم‌افزار Excel، فایل شجره با استفاده از نرم‌افزارهای CFC (Sargolzaei *et al.*, 2006) و inbupgf90 (نسخه ۲۰۲۳) موردبررسی قرار گرفت. خلاصه‌ای از بررسی ساختار شجره در جدول‌های (۲) و (۳) نمایش داده شده است و شکل (۲) متوسط همخونی اسب‌های پرشی طی سال‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج بررسی شجره اسب‌های پرشی ثبت‌شده در پایگاه اطلاعاتی اسب‌های ورزشی کشور

عنوان	مقدار
تعداد کل اسب‌ها	۸۱۹۹
تعداد اسب‌های هم‌خون	۱۱۵۰
تعداد اسب‌های دارای رکورد	۱۴۹۹
تعداد کل نریان‌ها	۲۲۰۰
تعداد کل مادیان‌ها	۴۵۵۳
افراد دارای نتاج	۶۷۵۳
جمعیت پایه	۲۹۵۱
میانگین اندازه خانواده	۲/۰۹
میانگین ضریب هم‌خونی	۰/۱۹ درصد
میانگین هم‌خونی در اسب‌های هم‌خون	۱ درصد
حداکثر میزان هم خونی	۲۵ درصد

جدول ۳. پراکندگی اسب‌های موردمطالعه در دامنه‌های مختلف همخونی

دامنه همخونی (درصد)	تعداد اسب‌ها (راس)	تعداد اسب‌ها (درصد)
صفر	۷۰۴۹	۸۵/۹۷
۰-۶/۲۵	۱۱۲۰	۱۳/۶۶
۶/۲۵-۱۲/۵۰	۲۷	۰/۳۳
۱۲/۲۵-۱۸/۷۵	۱	۰/۰۱
۱۸/۷۵-۲۵	۲	۰/۰۲
>۲۵	۰	۰



شکل ۲. متوسط همخونی اسب‌های پرشی در طی سال‌های مختلف

رابطه (۱) مدل اولیه برای برازش مدل و بررسی پارامترهای مؤثر بر صفات موردبررسی را نشان می‌دهد.

رابطه ۱)
$$Y_{ijklmnopqrs}= \mu + BY_i + Sex_j + Age_k + B_l + H_m + L_n + BR_o + A_p + R_q + DC_r + e_{ijklmnopqrs}$$

که در این رابطه، Y، مشاهدات مربوط به اسب‌های پرشی؛ μ، میانگین جامعه؛ BY_i، سال تولد؛ Sex_j، جنسیت؛ Age_k، سن؛ B_l، اثر نژاد؛ H_m، اثر ارتفاع مانع؛ L_n، سطح دشواری مسابقه؛ BR_o، اثر متقابل نژاد و سوارکار؛ A_p، اثر تصادفی ژنتیک افزایشی؛ R_q، اثر سوارکار؛ DC_r، تاریخ و شهر مسابقه و $e_{ijklmnopqrs}$، اثر تصادفی عوامل باقی مانده (خطا) می‌باشد.

مدل‌های بررسی‌شده برای صفات با استفاده از معیار اطلاعات آکایک (AIC)، با یکدیگر مقایسه شدند. این معیار نشان می‌دهد که استفاده از یک مدل آماری به چه میزان باعث از دست‌رفتن اطلاعات می‌شود. به‌عبارت دیگر، این معیار تعادلی میان دقت مدل و پیچیدگی آن برقرار می‌کند و به‌کمک رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

رابطه ۱)
$$AIC_i = -2 \text{ Log } L_i + 2P_i$$

در این رابطه، AIC_i، مقدار معیار اطلاعات آکایک مربوط به مدل i؛ $LogL_i$، حداکثر لگاریتم درست‌نمایی حاصل از مدل i و P_i، تعداد پارامترهای برآوردشده با مدل i می‌باشند. مدلی که کم‌ترین مقـدار AIC را نشان داد، به‌عنوان مناسب‌ترین مدل در تحلیل و تجزیه انتخاب گردید. رابطه (۳) مدل ماتریسی برای آنالیز تک‌صفته و چندصفته را نشان می‌دهد.

$$y = Xb + Z_1 a + Z_2 r + Z_3 dc + e$$ رابطه ۲)

در این رابطه، **y**، بردار مشاهدات مربوط به صفت موردنظر؛ x، ماتریس ضرایب اثرات ثابت؛ **b**، بردار مجهول اثرات ثابت؛ Z_1، ماتریس ضرایب اثر تصادفی ژنتیکی افزایشی؛ a، بردار مجهول اثر تصادفی ژنتیکی افزایشی؛ Z_2، ماتریس ضرایب اثر تصادفی سوارکار؛ r، بردار مجهول اثر تصادفی سوارکار؛ Z_3، ماتریس ضرایب اثر تصادفی تاریخ و شهر مسابقه؛ dc، بردار مجهول اثر تصادفی تاریخ و شهر مسابقه؛ e، بردار اثرات باقی‌مانده.

به‌منظور تجزیه و تحلیل ژنتیکی صفات از روش آماری بیزی مبتنی بر تکنیک نمونه‌گیری گیبس در قالب مدل دام تک‌صفتی استفاده شد و جهت اعمال روش مذکور نرم فزارهای Gibbs1f90 (نسخه ۲۰۲۲) (برای صفت زمان اتمام مسابقه) و Thrgibbs1f90 (نسخه ۲۰۲۲) (برای صفات رتبه در پایان مسابقه و تعداد خطاهای اسب در مسابقه) مورداستفاده قرار گرفتند. در این پژوهش تعداد کل سیکل‌های نمونه‌گیری گیبس ۱۵۰۰۰۰، دوره قلق گیری (دوره‌ای که مقادیر نمونه‌گیری‌شده پرت بوده و با مقادیر حقیقی تفاوت دارند) ۵۰۰۰۰ و فاصله نمونه‌گیری ۱۰ در نظر گرفته شد. جهت ارزیابی نواحی بالاترین چگالی پسین (HPD 95%) از پکیج "boa" (Smith, 2007) در نرم‌افزار R و الگوریتم توسعه‌یافته توسط چن و شائو (۱۹۹۹) استفاده شد.

پس از برآورد پارامترهای ژنتیکی و پیش‌بینی ارزش‌های ارثی، با استفاده از رابطه (۴) قابلیت اعتماد برای ارزش‌های ارثی برآورد شده (EBV)[1] محاسبه شد.

$$r_{IA}^2 = 1 - \frac{SEP^2}{\sigma_a^2}$$ رابطه ۴)

در این رابطه، r_{IA}^2، قابلیت اعتماد؛ SEP[2]، انحراف معیار پیش‌بینی؛ σ_a^2، واریانس ژنتیک افزایشی.

۴.یافته‌های پژوهش

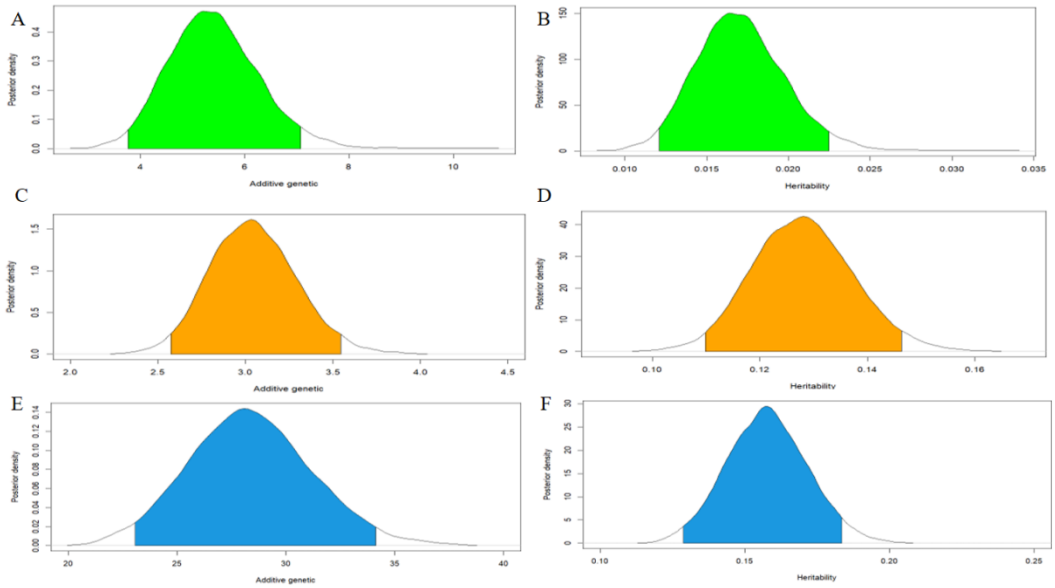
اجزای واریانس و وراثت‌پذیری برآوردشده در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج نشان داد که میزان وراثت‌پذیری برای صفات زمان اتمام مسابقه، تعداد خطاهای اسب در مسابقه و رتبه در پایان مسابقه با استفاده از مدل‌های تک‌صفتی و چندصفتی متفاوت است. وراثت‌پذیری برای صفت زمان اتمام مسابقه در مدل تک‌صفتی ۰/۰۲ و در مدل چندصفتی ۰/۰۸ برآورد شد. این ارقام نشان می‌دهند که عوامل ژنتیکی نسبت به عوامل محیطی تأثیر کم‌تری بر زمان اتمام مسابقه دارند. از سوی دیگر، برای صفت تعداد خطاهای اسب در مسابقه، وراثت‌پذیری در مدل تک‌صفتی ۰/۱۳ و در مدل چندصفتی ۰/۲۳ برآورد شد که بیانگر اهمیت بیش‌تر عوامل ژنتیکی در این صفت است. علاوه بر این، برای رتبه در پایان مسابقه، وراثت‌پذیری در مدل تک‌صفتی ۰/۱۶ و در مدل چندصفتی ۰/۲۹ برآورد شد. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه ژنتیک بر عملکرد کلی اسب‌ها در مسابقات است. مدل چندصفتی، که تعاملات بین صفات مختلف را نیز در نظر می‌گیرد، اغلب دقت بالاتری در برآورد وراثت‌پذیری دارد و در این مطالعه نیز این موضوع مشاهده شد. از بین صفات موردمطالعه صفت رتبه بیش‌تر از دیگر صفات تحت تأثیر ژنتیکی افزایشی قرار دارد. نواحی بالاترین چگالی پسین (HPD) محاسبه‌شده با استفاده از مدل تک‌صفتی و چندصفتی به‌ترتیب در شکل‌های (۳) و (۴) نمایش داده شده است.

1. Estimated breeding value
2. Standard error of prediction (SEP)

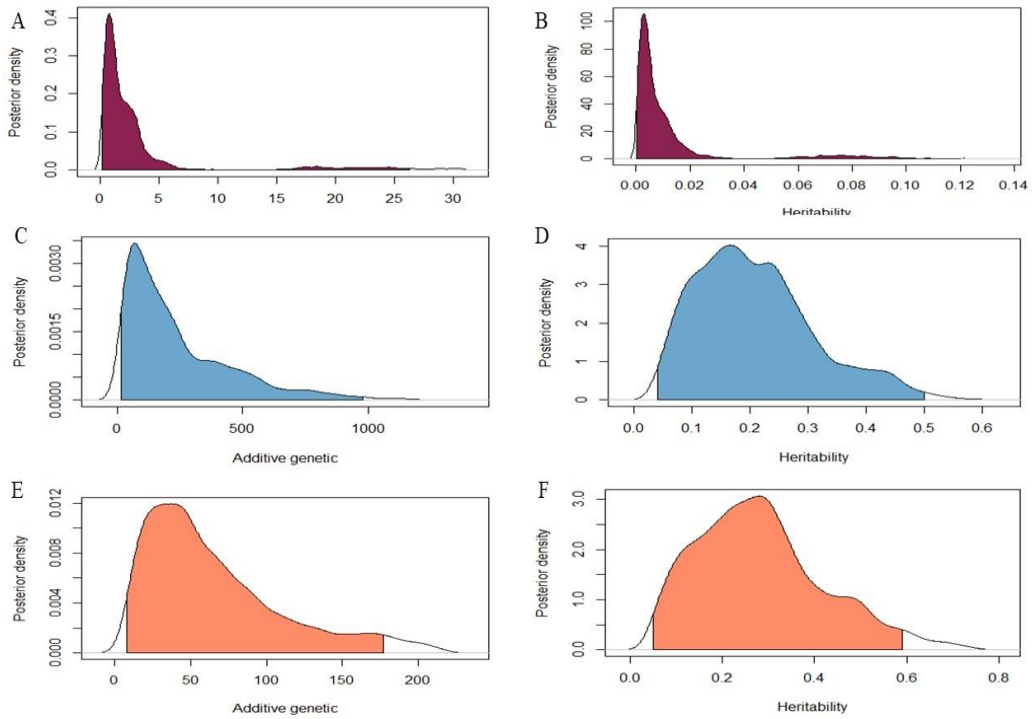
جدول ٤. میانگین، مد، میانه، *HPD و پارامترهای ژنتیکی برآوردشده صفات عملکردی

صفت	مدل	پارامترها	میانگین	میانه	مد	HPD (95%)	
						حد پایین	حد بالا
زمان (ثانیه)	تک‌صفتی	σ_a^2	۵/۴۱	۵/۳۶	۵/۵۰	۳/۷۶	۷/۰۹
		σ_R^2	۱۲/۴۴	۱۲/۳۹	۱۲/۲۳	۱۰/۲۱	۱۴/۹۹
		σ_{DC}^2	۸۹/۸۳	۸۹/۷۷	۸۹/۴۷	۸۴/۵۳	۹۵/۱۴
		σ_e^2	۲۰۹/۲۱	۲۰۹/۲۰	۲۰۹/۲۷	۲۰۵/۹۰	۲۱۲/۵۰
		σ_p^2	۳۱۶/۸۸	۳۱۶/۷۲	۳۱۶/۴۶	۳۰۴/۴۰	۳۲۹/۷۲
		h^2	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲
	چندصفتی	σ_a^2	۲۰/۱۱	۲/۵۸	۲۰/۷۸	۰/۱۴	۲۶/۳۰
		σ_R^2	۸۴/۸۳	۶۵/۶۲	۲۵/۰۸	۵	۲۱۹/۱۰
		σ_{DC}^2	۳۷/۵۵	۳۱/۳۷	۳۳/۴۸	۵/۶۲	۸۰/۹۴
		σ_e^2	۱۰۲/۸۹	۱۴۵/۴۰	۱۴۰/۴۱	۱۰۰/۵۰	۲۰۲/۵۰
		σ_p^2	۲۵۴/۵۳۷	۲۸۹/۵۹	۲۶۹/۲۱	۱۷۱/۳۹	۴۷۶/۶۲
		h^2	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۱۲
خطا	تک‌صفتی	σ_a^2	۳/۰۵	۳/۰۴	۲/۹۷	۲/۵۷	۳/۵۵
		σ_R^2	۱/۷۷	۱/۷۶	۱/۷۷	۱/۴۵	۲/۱۲
		σ_{DC}^2	–	–	–	–	–
		σ_e^2	۱۸/۹۶	۱۸/۹۶	۱۸/۸۹	۱۸/۷۳	۱۹/۲۳
		σ_p^2	۲۳/۷۸	۲۳/۷۶	۲۳/۶۳	۲۲/۷۵	۲۴/۹۰
		h^2	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۵
	چندصفتی	σ_a^2	۳۳۹/۸۸	۲۲۷/۶۰	۸۵/۵۱	۱۴/۳۳	۹۷۸/۴۰
		σ_R^2	۳۶۹/۳۹	۲۶۴	۱۵۰/۸۴	۱۰/۹۹	۱۰۶۵
		σ_{DC}^2	–	–	–	–	–
		σ_e^2	۱۶۰/۵۲	۱۴۶/۴۵	۱۴۶/۳۹	۵۹/۶۶	۳۰۷/۵۰
		σ_p^2	۱۳۳۱/۹۰	۱۲۱۳/۴۰	۴۳۸/۳۹	۱۹۶/۵۳	۳۰۰۳/۶۰
		h^2	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۵۰
رتبه	تک‌صفتی	σ_a^2	۲۸/۴۴	۲۸/۲۸	۲۸/۸۳	۲۳/۰۴	۳۴/۱۸
		σ_R^2	۲۸/۹۰	۲۸/۷۸	۲۸/۵۴	۲۴/۰۳	۳۴/۰۵
		σ_{DC}^2	۴۵/۶۰	۴۵/۵۵	۴۵/۶۶	۴۱/۵۵	۴۹/۵۶
		σ_e^2	۷۶/۹۰	۷۶/۹۰	۷۷/۰۷	۷۲/۴۰	۸۱/۵۰
		σ_p^2	۱۷۹/۸۴	۱۷۹/۵۱	۱۸۰/۱۰	۱۶۱/۰۲	۱۹۹/۲۹
		h^2	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۸
	چندصفتی	σ_a^2	۷۰/۲۴	۵۷/۶۳	۴۶/۰۷	۸/۰۷	۱۷۷/۶۰
		σ_R^2	۵۴/۱۴	۳۸/۴۳	۱۴/۶۰	۳/۶۵	۱۵۵/۳۰
		σ_{DC}^2	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
		σ_e^2	۲۶/۶۴	۲۶/۰۲	۲۵/۲۶	۱۷/۹۲	۳۶/۱۹
		σ_p^2	۲۴۸/۵۰	۲۱۶/۸۸	۱۵۹/۸۹	۵۹/۶۹	۴۹۲/۶۵
		h^2	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۰۵	۰/۵۹

σ_p^2: واریانس فنوتیپی، σ_a^2: واریانس ژنتیکی افزایشی، σ_R^2: واریانس سوارکار، σ_{DC}^2 : واریانس تاریخ و شهر مسابقه، σ_e^2: واریانس باقی مانده، h^2: وراثت‌پذیری، HPD: نواحی بالاترین چگالی پسین.



شکل ۳. توزیع پسین واریانس ژنتیکی افزایشی و وراثت‌پذیری با استفاده از مدل تک‌صفتی. A) توزیع پسین واریانس ژنتیکی افزایشی صفت زمان، B) توزیع پسین وراثت‌پذیری صفت زمان، C) توزیع پسین واریانس ژنتیکی افزایشی صفت خطا، D) توزیع پسین وراثت‌پذیری صفت خطا، E) توزیع پسین واریانس ژنتیکی افزایشی صفت رتبه، F) توزیع پسین وراثت‌پذیری صفت رتبه. قسمت رنگی نواحی بالاترین چگالی پسین (HPD 95%) را نشان می‌دهد.



شکل ٤. توزیع پسین واریانس ژنتیکی افزایشی و وراثت‌پذیری با استفاده از مدل چندصفتی. A) توزیع پسین واریانس ژنتیکی افزایشی صفت زمان، B) توزیع پسین وراثت‌پذیری صفت زمان، C) توزیع پسین واریانس ژنتیکی افزایشی صفت خطا، D) توزیع پسین وراثت‌پذیری صفت خطا، E) توزیع پسین واریانس ژنتیکی افزایشی صفت رتبه، F) توزیع پسین وراثت‌پذیری صفت رتبه. قسمت رنگی نواحی بالاترین چگالی پسین (HPD 95%) را نشان می‌دهد.

همبستگی‌های فنوتیپی و ژنتیکی مستقیم برآوردشده بـین صفات موردمطالعه در جدول (۵) ارائه شده است. همبستگی ژنتیکی بین صفات زمان- خطا، زمان- رتبه و خطا- رتبه به‌ترتیب ۰/۳۸، ۰/۳۶، و ۰/۶۵ برآورد شد. ازآنجاکه بین صفات موردمطالعه همبستگی ژنتیکی مثبت وجود دارد انتخاب بر روی هر یک از صفات موجب پیشرفت ژنتیکی در دیگر صفات نیز می‌شود. وجود این همبستگی‌های ژنتیکی مثبت و قوی برای برنامه‌های اصلاحی با هدف بهبود همزمان چندصفت مانند صفات زمان، خطا و رتبه مهم و ضروری است.

جدول ۵. همبستگی ژنتیکی (بالای قطر) و فنوتیپی (پایین قطر) صفات عملکردی اسب‌های پرشی

صفت	زمان	P-value	خطا	P-value	رتبه	P-value
زمان	-	-	۰/۳۸	<۰/۰۰۰۱	۰/۳۶	<۰/۰۰۰۱
خطا	۰/۴۱	<۰/۰۰۰۱	-	-	۰/۶۵	<۰/۰۰۰۱
رتبه	۰/۱۵	<۰/۰۰۰۱	۰/۳۴	<۰/۰۰۰۱	-	-

جدول (۶) میانگین صحت و قابلیت اعتماد ارزش‌های ارثی برآوردشده (EBV) را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که مدل چندصفتی به‌طور کلی عملکرد بهتری در مقایسه با مدل تک‌صفتی داشته است. برای صفت زمان، مدل چندصفتی با صحت ۰/۸۳ و قابلیت اعتماد ۰/۶۹ نسبت به مدل تک‌صفتی با صحت ۰/۷۷ و قابلیت اعتماد ۰/۶۰ برتری دارد. این الگو در مورد صفت خطا نیز تکرار می‌شود، جایی که مدل چندصفتی صحت ۰/۸۵ و قابلیت اعتماد ۰/۷۳را در مقایسه با مدل تک‌صفتی با صحت ۰/۷۹ و قابلیت اعتماد ۰/۶۲ نشان می‌دهد. برای صفت رتبه نیز مدل چندصفتی توانسته است بهبود قابل‌توجهی در صحت و قابلیت اعتماد ارائه دهد به‌طوری که صحت و قابلیت اعتماد با استفاده از مدل چندصفتی به‌ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۶۶ و در مدل تک‌صفتی ۰/۷۶ و ۰/۵۸ برآورد شد. این نتایج حاکی از آن است که مدل‌های چندصفتی می‌توانند در تمامی صفات موردبررسی عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های تک‌صفتی داشته باشند. صحت و قابلیت اعتماد می‌توانند مقادیری بین صفر تا یک را به خود اختصاص دهند. در بدترین حالت اگر هیچ اطلاعاتی موجود نباشد صحت و قابلیت اعتماد صفر خواهد بود و در بهترین حالت اگر اطلاعات بسیار زیادی در دسترس باشد، صحت برابر یک می‌شود. ازآنجاکه در صفت خطا به‌ازای هر راس اسب نسبت به دیگر صفات تعداد رکورد بیش‌تری وجود داشت، صفت خطا دارای بیش‌ترین صحت و قابلیت اعتماد بود.

جدول ٦. میانگین صحت و قابلیت اعتماد ارزش‌های ارثی برآوردشده (EBVs) صفات عملکردی

صفت	مدل	SEP	PEV	r	r^2
زمان (ثانیه)	تک‌صفته	۱/۴۷	۲/۱۶	۰/۷۷	۰/۶۰
	چندصفته	۲/۵۰	۶/۲۳	۰/۸۳	۰/۶۹
خطا	تک‌صفته	۱/۰۸	۱/۱۶	۰/۷۹	۰/۶۲
	چندصفته	۹/۵۸	۹۱/۷۷	۰/۸۵	۰/۷۳
رتبه	تک‌صفته	۴/۰۶	۱۶/۴۹	۰/۷۶	۰/۵۸
	چندصفته	۴/۸۹	۲۳/۸۸	۰/۸۱	۰/۶۶

PEV: Prediction error variance

SEP: Standard error of prediction

۵. بحث

برآورد وراثت‌پذیری یک صفت یکی از مهم‌ترین مواردی است که باید در هنگام طراحی یک برنامه اصلاح نژادی مؤثر در نظر گرفته شود. مقادیر وراثت‌پذیری صفات مختلف می‌تواند متفاوت باشد، هم‌چنین ممکن است یک صفت خاص در جمعیت‌های مختلف دارای مقادیر متفاوتی از وراثت‌پذیری باشد. در مطالعات ولی و همکاران (b ۲۰۱۵)، ولی و همکاران (a ۲۰۱۵)، پارک و همکاران (۲۰۱۱) و بختیاری‌زاده و کاشان (۲۰۰۹)، میزان وراثت‌پذیری صفت زمان اتمام مسابقه در مسافت ۱۶۰۰ متر در دامنه ۰/۰۱ الی ۰/۳۰ برآورد شد که نتایج پژوهش حاضر در این دامنه قرار داشت. ولی و همکاران (۲۰۱۵b) میزان وراثت‌پذیری صفت زمان مسابقه را در مسافت ۱۵۰۰ متر را کم‌تر از ۰/۰۱ برآورد کردند که کم‌تر از مقدار به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر است. ولی و همکاران (a ۲۰۱۵) میزان وراثت‌پذیری زمان مسابقه در مسافت ۲۲۰۰ متر را برای اسب‌های هنگ‌کنگ ۰/۰۱> گزارش کردند که از برآورد پژوهش حاضر کم‌تر هست. بختیاری‌زاده و کاشان (۲۰۰۹) و ولی و همکاران (۲۰۱۵a) میزان وراثت‌پذیری زمان مسابقه در مسافت ۱۰۰۰ متر کورس را به‌ترتیب ۰/۱۳ و۰/۱۶ گزارش نمودند که همه این برآوردها بیش‌تر از نتایج پژوهش حاضر است. سروانتس و همکاران (۲۰۲۰)، بیلی و همکاران (۲۰۲۲) و فاریا و همکاران (۲۰۲۳) وراثت‌پذیری را ۰/۰۶ الی ۰/۴۱ گزارش کردند که بیش‌تر از مقدار برآوردشده با استفاده از مدل تک‌صفتی در پژوهش حاضر است، اما نتایج مدل چندصفتی در این دامنه قرار داشت. اختلافات موجود در برآوردهای وراثت‌پذیری می‌تواند ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی و محیطی بین جمعیت‌های مختلف، روش‌های آماری مختلف و شرایط مختلف پرورش و مسابقه باشد. این نکته تأکید می‌کند که برای رسیدن به برآوردهای دقیق‌تر، لازم است مطالعات بیش‌تری در جمعیت‌های مختلف و با استفاده از روش‌های متنوع صورت گیرد. در نهایت، درک بهتری از وراثت‌پذیری این صفات می‌تواند به بهبود برنامه‌های اصلاح نژادی و افزایش عملکرد اسب‌های پرشی منجر شود.

پروچنیاک و همکاران (۲۰۱۵) و پروچنیاک و همکاران (۲۰۱۹) با به‌کارگیری روش بیزین مبتنی بر نمونه‌گیری گیبس وراثت‌پذیری را برای صفت تعداد خطاهای اسب در مسابقه ۰/۲۰ الی ۰/۲۷ و ۰/۳۲ الی ۰/۳۸ برآورد کردند که مغایر با مقدار برآوردشده در پژوهش حاضر بود. نواتنا و همکاران (۲۰۱۴) وراثت‌پذیر را برای این صفت با استفاده از مدل دام تک‌صفتی ۰/۰۷ و مدل دام چندصفتی ۰/۰۷ الی ۰/۱۶ گزارش کردند که با نتایج حاصل از مدل تک‌صفتی در پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. اسچوبرتوآ و همکاران (۲۰۱۶) وراثت‌پذیری را برای صفت تعداد خطاهای اسب در مسابقه مغایر با مقدار محاسبه‌شده در پژوهش حاضر یعنی ۰/۱۷ برآورد کردند و برای انجام این پژوهش مدل دام تک‌صفتی و روش بیزین را مورداستفاده قرار دادند. این یافته‌ها اهمیت استفاده از مدل‌های چندصفتی در برنامه‌های اصلاح نژاد را برجسته می‌کنند. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان برآوردهای دقیق‌تری از وراثت‌پذیری صفات مختلف به‌دست آورد و در نتیجه، بهبود ژنتیکی مؤثرتری در جمعیت اسب‌های مسابقه‌ای ایجاد کرد.

سوله و همکاران (۲۰۱۷) برای اسب‌های ورزشی اسپانیا وراثت‌پذیری صفت رتبه در پایان مسابقه را برای اسب‌های جوان ۰/۱۵ تا ۰/۱۷ و برای اسب‌های بزرگسال ۰/۱۱ تا ۰/۱۳ گزارش کردند که نزدیک به نتایج مدل تک‌صفتی در تحقیق حاضر بود. جانسون و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش REML و مدل دام تک‌صفتی وراثت‌پذیری را برای صفت رتبه در پایان مسابقه ۰/۱۶ برآورد کردند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی داشت. اسچوبرتوآ و همکاران (۲۰۱۶) با به‌کارگیری مدل دام تک‌صفتی و روش بیزین وراثت‌پذیری را برای صفت مذکور کم‌تر از مقدار برآوردشده در پژوهش حاضر گزارش کردند (۰/۱۰). پروچیناک و همکاران (۲۰۱۹) وراثت‌پذیری برای صفت رتبه را ۰/۲۳ برآورد نمودند که با نتایج پژوهش حاضر هم خوانی نداشت و برای انجام این پژوهش از روش بیزین مبتنی بر نمونه‌گیری گیبس استفاده کردند. مزی و همکاران (۲۰۱۵) با به‌کارگیری روش‌های مختلف تبدیل داده مانند بلوم، ریشه دوم و غیره

وراثت‌پذیری را برای صفت رتبه موافق با نتایج پژوهش حاضر یعنی ۰/۰۲ تا ۰/۰۷ گزارش کردند. گارسیا بالستروس و همکاران (۲۰۱۸) این مقدار را در صفت مذکور ۰/۰۸ گزارش کردند که مغایر با مقدار برآوردشده در پژوهش حاضر بود. هم‌چنین ولکر و همکاران (۲۰۱۸) وراثت‌پذیری را برای صفت رتبه ۰/۲۸ تا ۰/۳۶ گزارش کردند که نزدیک به نتایج حاصل از مدل چندصفتی در پژوهش حاضر بود.

وراثت‌پذیری صفات عملکردی در اسب‌های پرشی معمولاً پایین است، زیرا این صفات تحت تأثیر عوامل محیطی متعددی قرار دارند. مطالعات نشان می‌دهند که تأثیر محیط بر عملکرد اسب‌های پرشی بسیار زیاد است و این موضوع باعث تفاوت در برآوردهای وراثت‌پذیری در جمعیت‌های مختلف می‌شود (Doyle *et al*., 2022). یکی از دلایل این تفاوت‌ها می‌تواند تفاوت در شرایط محیطی و مدیریت باشد که بر نتایج مسابقات تأثیر می‌گذارند. این موارد شامل تفاوت در ارتفاع موانع، کیفیت میدان مسابقه، تجربه و مهارت سوارکاران است (Chapard *et al*., 2023). هم‌چنین، محیط نگهداری و تمرین اسب‌ها و تفاوت در تغذیه و مراقبت می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد آن‌ها تأثیر بگذارد (Flegr, 2023). بنابراین، با توجه به عوامل متعدد و اثرات زیاد محیطی، پیشرفت ژنتیکی قابل‌توجهی در صفات عملکردی اسب‌های پرشی تنها از طریق انتخاب ژنتیکی امکان‌پذیر نیست و نیازمند در نظرگرفتن عوامل محیطی و مدیریتی نیز می‌باشد. علاوه بر عوامل محیطی آشکار مانند سن، جنسیت، نژاد اسب، زمان و محل برگزاری مسابقه، ارتفاع موانع و سوارکار که می‌توانند بسته به ماهیت اثر در قالب اثرات ثابت و تصادفی در مدل‌های آماری گنجانده شوند، برخی دیگر از اثرات محیطی نیز وجود دارند که بر عملکرد اسب تأثیرگذار هستند، اما نمی‌توان آن‌ها را در آنالیزها به‌حساب آورد. این اثرات ممکن است شامل مواردی مانند شرایط آب‌وهوایی روز مسابقه، سلامت عمومی اسب در روز مسابقه، میزان استرس یا اضطراب اسب و شرایط سطح زمین مسابقه باشند که معمولاً به‌دلیل پیچیدگی و عدم قابلیت اندازه‌گیری دقیق، در مدل‌های آماری گنجانده نمی‌شوند (Trigg *et al*., 2023).

یکی از مهم‌ترین اثرات در ارزیابی پارامترهای ژنتیکی اسب‌های ورزشی اثر سوارکار است (Schubertová *et al*., 2016). وجود اثر سوارکار در مدل آماری برای ارزیابی پارامترهای ژنتیکی و پیش‌بینی ارزش اصلاحی در چند پژوهش موردبررسی قرار گرفته است. این مطالعات نشان داده‌اند که سوارکار می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد اسب داشته باشد و این اثرات باید در مدل‌های آماری گنجانده شوند تا دقت ارزیابی‌های ژنتیکی و پیش‌بینی‌های ارزش اصلاحی بهبود یابد (Gómez *et al*., 2010). در پژوهش حاضر نیز مقادیر واریانس اثر سوارکار در صفات موردبررسی نشان از تأثیر به‌سزای اثر سوارکار بر عملکرد اسب دارد. رابطه خوب بین سوارکار و اسب باعث کاهش استرس، رفتار بهتر اسب و در نهایت گرفتن نتیجه خوب در مسابقه است (Bartolomé *et al*., 2013). تفاوت در بین سوارکاران به‌طور کلی زیاد است به‌ویژه از نظر تجربه و تعداد مسابقاتی که شرکت می‌کنند. یکی از مشلات ارزیابی اثر سوارکار این است که تعداد زیادی سوارکار فقط با یک اسب و یا فقط یک‌بار در مسابقات شرکت می‌کنند که این عمل ارزیابی اثر سوارکار را با مشکل روبه‌رو می‌کند (Novotná *et al*., 2014).

تفاوت در تعداد رکوردهای مورداستفاده، روش‌های آماری مختلف و سیستم‌های مدیریتی متفاوت در مسابقات ورزشی در کشورهای مختلف می‌تواند علل اصلی تفاوت نتایج پژوهش حاضر با نتایج دیگر مطالعات باشد. این عوامل نشان می‌دهند که وراثت‌پذیری پایین صفات عملکردی اسب‌های پرشی ناشی از اثرات پیچیده محیطی و ژنتیکی است که تنها از طریق انتخاب مستقیم نمی‌توان بهبود قابل‌توجهی در عملکرد ورزشی این اسب‌ها ایجاد کرد. بنابراین، برنامه‌های اصلاحی دیگر مانند آمیخته‌گری می‌توانند مؤثرتر باشند (Rosa, 2023). وراثت‌پذیری پایین‌تر در پژوهش حاضر نسبت به کشورهای توسعه‌یافته نیز نشان می‌دهد که بهبود شرایط محیطی، ثبت دقیق‌تر رکوردها و تصحیح آن‌ها برای عوامل محیطی می‌تواند به افزایش

وراثت‌پذیری کمک کند. این بهبودها شامل ایجاد شرایط یکنواخت در محیط پرورش و استفاده از روش‌های پیشرفته ثبت و تحلیل داده‌ها است که می‌تواند به افزایش دقت در برآورد وراثت‌پذیری و بهبود برنامه‌های اصلاح نژادی کمک کند (Rosa, 2023). اگر چه صفات موردبررسی در این پژوهش دارای وراثت‌پذیری پایین بودند، اما در صورت وجود مجموعه‌ای کامل و صحیح از اطلاعات ورزشی و شجره‌ای اسب‌های پرشی می‌تواند نتایج متفاوتی را به‌همراه داشته باشد. با توجه به اهمیت صفات موردبررسی برای مالکان، سوارکاران و مربی‌ها برآورد پارامتر ژنتیکی برای این صفات قابل‌توجیه است.

همبستگی ژنتیکی در صورتی‌که به نحو صحیح برآورد شود اهمیت زیادی در برنامه‌های اصلاح نژاد دارد. با توجه به وجود همبستگی ژنتیکی بین صفات مختلف، انتخاب در یک صفت اغلب سبب تغییر ژنوتیپ افراد در صفات دیگر می‌شود. پروچیناک و همکاران (۲۰۱۵) همبستگی ژنتیکی بین صفات خطا و رتبه ۰/۴۶ الی ۰/۸۲ برآورد کردند که نتایج برآوردشده در پژوهش حاضر در این دامنه قرار دارد. به‌طورکلی تحقیقات محدودی جهت برآورد همبستگی ژنتیکی بین صفات موردبررسی در مطالعه حاضر انجام شده است و گزارشی از همبستگی ژنتیکی بین صفت زمان و صفات خطا و رتبه ارائه نشده است. براساس نتایج پژوهش حاضر می‌توان گفت بین صفات زمان، خطا و رتبه همبستگی ژنتیکی مثبت وجود دارد. ازآنجاکه صفت رتبه دارای بیش‌ترین وراثت‌پذیری در بین صفات مذکور است و بیش‌تر تحت تأثیر اثر ژنتیکی افزایشی قرار دارد، لذا پاسخ به انتخاب در این صفت بیش‌تر از دیگر صفات است. حال آنکه به‌دلیل وجود همبستگی ژنتیکی مثبت بین صفت رتبه و صفات زمان و خطا پیشرفت ژنتیکی در دو صفت دیگر نیز اتفاق می‌افتد.

آنچه که در برآورد ارزش اصلاحی دارای اهمیت است بالابودن صحت و قابلیت اعتماد آن است. عواملی مانند در دسترس‌بودن رکورد از خود حیوان، موجودبودن اطلاعات والدین و نتاج موجب بالارفتن قابلیت اعتماد EBVs می‌شود. در نژاد DWB[1]، EBV یک اسب زمانی منتشر می‌شود که قابلیت اعتماد آن بیش‌تر از ۰/۶۰ باشد (جانسون و همکاران، ۲۰۱۶). اسچوبرتورا و همکاران (۲۰۱۶) میانگین قابلیت اعتماد EBVs را برای صفات خطا و رتبه به‌ترتیب ۰/۳۴ (صفر تا ۰/۸۳) و ۰/۲۵ (صفر تا ۰/۷۳) برآورد کردند که کم‌تر از مقدار محاسبه‌شده در پژوهش حاضر بود. هم‌چنین در مطالعه‌ای که توسط جانسون و همکاران (۲۰۱۶) انجام شده است قابلیت اعتماد EBVs برای صفت رتبه را ۰/۴۵ گزارش کردند که مغایر با نتایج پژوهش حاضر بود. عواملی مانند عمق شجره، تعداد رکورد به‌ازای هر اسب، نوع نرم‌افزار و روش آماری استفاده‌شده و نحوه ویرایش فایل داده می‌تواند موجب عدم هم‌خوانی نتایج پژوهش حاضر با دیگر پژوهش‌ها گردد.

این نتایج نشان می‌دهند که استفاده از مدل‌های چندصفتی می‌تواند به بهبود دقت و قابلیت اعتماد در تخمین ارزش‌های ارثی منجر شود. مدل‌های چندصفتی با بهره‌گیری از اطلاعات اضافی از سایر صفات و روابط بین آن‌ها، تخمین‌های دقیق‌تری ارائه می‌دهند که می‌تواند به بهبود برنامه‌های انتخاب ژنتیکی کمک کند. استفاده از مدل‌های چندصفتی در برنامه‌های به‌نژادی دام‌ها می‌تواند به افزایش بهره‌وری و پیشرفت ژنتیکی منجر شود. این مدل‌ها می‌توانند به‌طور مؤثرتری تنوع ژنتیکی را در ارزش‌های ارثی نشان دهند و ابزار بهتری برای انتخاب ژنتیکی باشند.

۶. نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که صفات زمان اتمام مسابقه، تعداد خطاها و رتبه در پایان مسابقه به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار دارند. از بین این صفات، صفت رتبه در پایان مسابقه بیش‌ترین وراثت‌پذیری را داشت و بنابراین پاسخ به انتخاب در این صفت بیش‌تر خواهد بود. هم‌چنین، براساس نتایج مطالعه حاضر می‌توان اذعان داشت که استفاده از مدل چندصفتی منجر به برآوردهای دقیق‌تری از وراثت‌پذیری و بهبود دقت و قابلیت اعتماد در تخمین ارزش‌های اصلاحی می‌شود.

1. Danish Warmblood

۷. تشکر و قدر دانی

از پرسنل و کارشناسان محترم فدراسیون سوارکاری ایران که در تهیه داده مربوط به این پژوهش ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

تاند، م, زندی، م. ب، اسکندری نسب، م. پ و عبدلی، م (۱۴۰۱). مروری بر ارزیابی پارامترهای ژنتیکی صفات عملکردی در اسب‌های ورزشی پرش. علمی- ترویجی (حرفه‌ای) دامِستیک, ۲۲(۲)، ۱۴-۲۳. doi: 10.22059/domesticsj.2022.345026.1099

References

ABACI, S. H., COŞKUN, Ü., & ÖNDER, H. (2019). Comparison of Some random regression models for racing performances of the British racing horses in Turkey. *Black Sea Journal of Agriculture*, *2*(1), 6-9.

Bailey, E., Petersen, J. L., & Kalbfleisch, T. S. (2022). Genetics of Thoroughbred racehorse performance. *Annual Review of Animal Biosciences*, *10*, 131-150.

Bakhtiari, J., & Kashan, N. E. J. (2009). Estimation of genetic parameters of racing performance in Iranian Thoroughbred horses. *Livestock Science*, *120*(1-2), 151-157. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.05.007

Barrey, E. (2013). Genetic basis of equine performance. *Equine Sports Medicine and Surgery: Basic and Clinical Sciences of the Equine Athlete*, 43-58.

Bartolomé, E., Menéndez-Buxadera, A., Valera, M., Cervantes, I., & Molina, A. (2013). Genetic (co)variance components across age for Show Jumping performance as an estimation of phenotypic plasticity ability in Spanish horses. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, *130*(3), 190-198. https://doi.org/10.1111/jbg.12001

Cervantes, I., Gutiérrez, J. P., García-Ballesteros, S., & Varona, L. (2020). Combining threshold, thurstonian and classical linear models in horse genetic evaluations for endurance competitions. *Animals*, *10*(6), 1075.

Chapard, L., Van Thillo, A., Meyermans, R., Gorssen, W., Buys, N., & Janssens, S. (2023). Adjusted fence height: an improved phenotype for the genetic evaluation of show jumping performance in Warmblood horses. *Genetics Selection Evolution*, *55*(1), 12. https://doi.org/10.1186/s12711-023-00786-2

Chen, M.-H., & Shao, Q.-M. (1999). Monte Carlo estimation of Bayesian credible and HPD intervals. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, *8*(1), 69-92.

Doyle, J. L., Carroll, C. J., Corbally, A. F., & Fahey, A. G. (2022). An overview of international genetic evaluations of show jumping in sport horses1. *Translational Animal Science*, *6*(2), txac038. https://doi.org/10.1093/tas/txac038

Faria, R., Vicente, A., & Silva, J. (2023). Racing Performance of the Quarter Horse: Genetic Parameters, Trends and Correlation for Earnings, Best Time and Time Class. *Animals*, *13*(12), 2019.

Flegr, J. (2023). *Heritability BT-Encyclopedia of Sexual Psychology and Behavior* (T. K. Shackelford (ed.); pp. 1–16). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08956-5_2415-1

Food and Agriculture Organization. (2021). *Production-Live Animal*. http://www.fao.org/faostat/en/#compare.

García-Ballesteros, S., Varona, L., Valera, M., Gutiérrez, J. P., & Cervantes, I. (2018). Cross-validation analysis for genetic evaluation models for ranking in endurance horses. *Animal*, *12*(1), 20-27. https://doi.org/10.1017/S1751731117001331

Gómez, M. D., Menendez-Buxadera, A., Valera, M., & Molina, A. (2010). Estimation of genetic parameters for racing speed at different distances in young and adult Spanish Trotter horses using the random regression model. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, *127*(5), 385-394.

Grantham, K. L., Kasza, J., Heritier, S., Carlin, J. B., & Forbes, A. B. (2022). Evaluating the performance of Bayesian and restricted maximum likelihood estimation for stepped wedge cluster randomized trials with a small number of clusters. *BMC Medical Research Methodology*, *22*(1), 112.

Jönsson, L., Madsen, P., & Mark, T. (2016). Modelling repeated competition records in genetic evaluations of Danish sport horses. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, *133*(4), 291-302. https://doi.org/10.1111/jbg.12190

Klecel, W., Drobik-Czwarno, W., & Martyniuk, E. (2021). 36 Factors influencing racing performance in Polish Thoroughbreds and Purebred Arabian horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, *100*, 103499.

Köseman, A., & Şeker, İ. (2018). Atların yarış ve yarışma performansları üzerine etkili faktörler ve performansı artırma yolları. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, *37*(1), 61-68.

Mezei, A. R., Posta, J., & Mihók, S. (2015). Comparison of different measurement variables based on hungarian show jumping results. In *Annals of Animal Science* (Vol. 15, Issue 1, pp. 177-183). Walter de Gruyter GmbH. https://doi.org/10.2478/aoas-2014-0063

Nishita, Y., Amaike, Y., Spassov, N., Hristova, L., Kostov, D., Vladova, D., Peeva, S., Raichev, E., Vlaeva, R., & Masuda, R. (2023). Diversity of mitochondrial D-loop haplotypes from ancient Thracian horses in Bulgaria. *Animal Science Journal*, *94*(1), e13810.

Nolan, S., Smerzi, A., & Pezzè, L. (2021). A machine learning approach to Bayesian parameter estimation. *Npj Quantum Information*, *7*(1), 169. https://doi.org/10.1038/s41534-021-00497-w

Nomura, M., Shiose, T., Ishikawa, Y., Mizobe, F., Sakai, S., & Kusano, K. (2019). Prevalence of post-race exertional heat illness in Thoroughbred racehorses and climate conditions at racecourses in Japan. *Journal of Equine Science*, *30*(2), 17-23. https://doi.org/10.1294/jes.30.17

Novotná, A., Bauer, J., Vostrý, L., & Jiskrová, I. (2014). Single-trait and multi-trait prediction of breeding values for show-jumping performance of horses in the Czech Republic. *Livestock Science*, *169*(C), 10-18. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.09.016

Novotná, A., Svitáková, A., & Schmidová, J. (2015). Comparison of models to estimate genetic parameters for scores of competitive sport horse events in the Czech Republic. *Czech Journal of Animal Science*, *60*(9), 383-390. https://doi.org/10.17221/8453-CJAS

Park, K. Do. (2011). Genetic parameters of finish time in Korean Thoroughbred racehorses. *Livestock Science*, *140*(1-3), 49-54. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.02.006

Próchniak, T., Rozempolska-Rucińska, I., & Zięba, G. (2019). Maternal effect on sports performance traits in horses. *Czech Journal of Animal Science*, *64*(8), 361-365. https://doi.org/10.17221/156/2018-CJAS

Próchniak, T., Rozempolska-Rucińska, I., Zięba, G., & Łukaszewicz, M. (2015). Genetic variability of show jumping attributes in young horses commencing competing. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *28*(8), 1090-1094. https://doi.org/10.5713/ajas.14.0866

Ricard, A., & Chanu, I. (2001). Genetic parameters of eventing horse competition in France. *Genetics, Selection, Evolution : GSE*, *33*(2), 175. https://doi.org/10.1186/1297-9686-33-2-175

Rosa, G. J. M. (2023). *Quantitative Methods Applied to Animal Breeding BT - Animal Breeding and Genetics* (M. L. Spangler (ed.); pp. 25-49). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2460-9_334

Sahin, M., Yavuz, E., & Uckardes, F. (2018). Multicollinearity problem and bias estimates in Japanese quail. *Pakistan Journal of Zoology*, *50*(2).

Sargolzaei, M., Iwaisaki, H., & Colleau, J. J. (2006). CFC: A tool for monitoring genetic diversity. *Proc. 8th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., CD-ROM Communication*, *27-28*, 13-18.

Schubertová, Z., Candrák, J., & Rolinec, M. (2016). Genetic Evaluation of Show Jumping Horses in the Slovak Republic. *Annals of Animal Science*, *16*(2), 387-398. https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0072

Smith, B. J. (2007). boa: an R package for MCMC output convergence assessment and posterior inference. *Journal of Statistical Software*, *21*, 1-37.

Solé, M., Bartolomé, E., José Sánchez, M., Molina, A., & Valera, M. (2017). Predictability of adult Show Jumping ability from early information: Alternative selection strategies in the Spanish Sport Horse population. *Livestock Science*, *200*, 23-28. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.03.019

Taned, M., Zandi, M. B., Eskandari Nasab, M., & Abdoli, M. (2022). Genetic parameter estimation of performance traits in sport jumping horses; a review. *Professional Journal of Domestic*, *22*(2), 14-23. https://doi.org/10.22059/domesticsj.2022.345026.1099 (in Persian)

Tavernier, A. (1991). Genetic evaluation of horses based on ranks in competitions. *Genetics, Selection, Evolution: GSE*, *23*(2), 159. https://doi.org/10.1186/1297-9686-23-2-159

Trigg, L. E., Lyons, S., & Mullan, S. (2023). Risk factors for, and prediction of, exertional heat illness in Thoroughbred racehorses at British racecourses. *Scientific Reports*, *13*(1), 3063. https://doi.org/10.1038/s41598-023-27892-x

Velie, B. D., Hamilton, N. A., & Wade, C. M. (2015a). Heritability of racing performance in the Australian Thoroughbred racing population. *Animal Genetics*, *46*(1), 23-29. https://doi.org/10.1111/age.12234

Velie, B. D., Hamilton, N. A., & Wade, C. M. (2015b). Performance selection for Thoroughbreds racing in Hong Kong. *Equine Veterinary Journal*, *47*(1), 43-47. https://doi.org/10.1111/evj.12233

Velie, B. D., Hamilton, N. A., & Wade, C. M. (2015c). Heritability of racing performance in the Australian Thoroughbred racing population. *Animal Genetics*, *46*(1), 23-29. https://doi.org/10.1111/age.12234

Welker, V., Stock, K. F., Schöpke, K., & Swalve, H. H. (2018). Genetic parameters of new comprehensive performance traits for dressage and show jumping competitions performance of German riding horses. *Livestock Science*, *212*, 93-98. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.04.002